

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL SISTEMA PORTANTE HORMI2 DE
PANELES DE HORMIGÓN ARMADO CON NÚCLEO DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO MEDIANTE EL USO DE FORMALETAS”**

AUTORES:

ADRIANA MICAELA OROZCO BOLAÑOS

ANDRES RAMIRO PUENTE GALLEGOS

DIRECTOR:

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2016

Dedicatoria

A Dios y a mis padres, por haber sembrado con su ejemplo la imagen de trabajo y amor a todo lo que hago. A mi familia, que con su amor y energía positiva me han apoyado en todo momento. A mis amigos por los gratos momentos compartidos desde siempre. Mil gracias por ser parte de este proyecto.

01110100 01100101 00100000 01100001 01101101 01101111 00100000 01101110 01100101
01101100

-Adriana Micaela Orozco Bolaños

Este objetivo de vida lo dedico principalmente a Dios, quien me ha otorgado este maravilloso camino lleno de experiencias y conocimiento necesario para ir en busca de mi destino.

A mis padres, quienes han sabido forjar en mí una ética llena de valores, un pensamiento consciente y un espíritu de luz.

A mi hermano, mi amigo más sabio, quien siempre ha sabido brindarme su apoyo y amor en todo momento de mi vida.

-Andres Ramiro Puente Gallegos

Agradecimientos

A Dios por permitirnos culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por.....

Al Ing. Wilson Cando, director de esta disertación, por todo su apoyo, tiempo y consejos durante el desarrollo de esta investigación.

A los revisores de este trabajo, el Ing. Fredi Paredes y el Ing. Oscar Jaramillo, por el apoyo brindado para la culminación de esta disertación.

A las empresas Panecons SA, Sika Ecuatoriana SA y Tespecon CIA LTDA por su constante ayuda durante las investigaciones y ensayos de este trabajo.

Resumen

Esta investigación nace de la búsqueda continua de mejora e innovación en el proceso constructivo del sistema hormi2 utilizado para tabiquería. Lo que se busca con esta es una optimización de tiempos y costos en el proceso constructivo de dicho sistema. Esta investigación es una evaluación de productividad del sistema “hormi2” con dos procesos de construcción diferentes: el usado actualmente que consiste en la proyección de mortero como terminado y el que se busca implementar a futuro, mediante el vertido de mortero utilizando formaleas como encofrado.

Para una investigación completa se procedió primeramente a encontrar en laboratorio un mortero de consistencia suficientemente fluida para ser vertido en los pequeños espesores de los paneles hormi2 y que además presente una resistencia a la compresión entre 80 y 100 kg/cm². Una vez que se determinó el mortero adecuado, el estudio se llevó a campo en la construcción de una tabiquería en donde se midieron cantidades, rendimientos y tiempos de trabajo, estableciendo de esta manera resultados reales de costos y productividad del sistema hormi2 mediante el vertido de mortero.

Finalmente se compararon rendimientos, costos, productividad y resistencia del sistema vertido vs. el sistema proyectado; para así concluir si existe una optimización en el proceso constructivo del sistema hormi2.

Tabla de Contenidos

Capítulo I: Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Metodología	5
Capítulo II: Marco Teórico	7
2.1 Características del sistema “hormi2”	7
2.1.1 Elementos constitutivos del sistema constructivo “hormi2”	7
2.1.2 Principales características de los materiales	9
2.1.3 Ventajas del sistema constructivo “hormi2”	9
2.1.4 Tipos de paneles “hormi2”	10
2.1.5 Tipos de mallas de refuerzo	20
2.2 Investigaciones realizadas	21
2.2.1 Compresión centrada y excéntrica	21
2.2.2 Flexión simple	22
2.2.3 Corte directo	23
2.2.4 Carga horizontal contenida en el plano y carga horizontal cíclica	23
2.2.5 Impacto blando y duro	23
2.2.6 Carga vertical excéntrica	24
2.2.7 Ensayos sísmicos	24
2.2.8 Resistencia al fuego	24
2.2.9 Aislamiento térmico	26
2.3 Descripción del sistema portante “hormi2” de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido mediante la proyección de mortero	27
2.3.1 Normativa establecida para el sistema “hormi2”	28
2.3.2 Proceso constructivo y de instalación para el sistema “hormi2”	29
2.4 Descripción del sistema portante “hormi2” de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido mediante el vertido de mortero utilizando formaletas	34
2.4.1 Diseño de cimbras y encofrados	34
2.4.2 Tipos encofrados según el material del que están compuestos	34
2.4.3 Apuntalamiento de encofrados	40
2.4.4 Vertido de mortero	40
Capítulo III: Pruebas de Laboratorio	42
3.1 Selección de la arena óptima para la obtención de un mortero fluido	42
3.2 Cálculo de dosificaciones a utilizar	61
3.2.1 Dosificaciones efectuadas en el laboratorio de la PUCE	61
3.2.2 Dosificaciones efectuadas en los laboratorios de Tespecon	64
3.3 Ensayos de compresión de morteros	65
3.3.1 Resistencia a la compresión de morteros realizados en el laboratorio de la PUCE	65
3.3.2 Resistencia a la compresión de morteros elaborados en el laboratorio de Tespecon	72

	vi
3.4 Prueba de vertido de Panel en los laboratorios de Tespecon	72
3.4.1 Descripción de ensayo de vertido manual.....	72
3.4.2 Descripción del ensayo de vertido con maquinaria de bombeo.....	76
3.5 Ensayos de resistencia a la compresión en probetas	78
Capítulo IV: Trabajos de Campo.....	81
4.1 Descripción de los trabajos a realizar para la construcción de una tabiquería en forma de “L”	81
4.1.1 Prueba de tabiquería con formaletas plásticas.	81
4.1.2 Prueba de tabiquería con formaletas metálicas.	95
4.2 Medición de parámetros considerados	106
4.2.1 Cuadrilla tipo.	106
4.2.2 Materiales.....	108
4.2.3 Rendimientos.	110
4.2.4 Análisis de precios unitarios.	111
4.2.5 Tiempos productivos, contributorios y no contributorios.....	119
4.2.6 Resistencia a la compresión del sistema.	121
Capítulo V: Análisis y discusión de resultados	123
5.1 Rendimientos.....	123
5.2 Análisis de precios unitarios.....	124
5.3 Balance de cuadrillas.....	133
5.3.1 Balance de cuadrillas: mortero proyectado.....	135
5.3.2 Balance de cuadrillas: mortero vertido.	139
5.4 Diagramas de productividad.....	142
5.4.1 Diagramas de productividad: mortero proyectado.....	143
5.4.2 Diagramas de productividad: mortero vertido.	147
5.5 Resistencia a la compresión	150
5.6 Comparación de ambos sistemas.....	151
5.6.1 Rendimientos.	151
5.6.2 Análisis de precios unitarios.	152
5.6.3 Productividad del Sistema.....	153
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....	156
Bibliografía.....	161
Anexos.....	167

Lista de tablas

Tabla 2.1 Características del panel modular simple	13
Tabla 2.2 Características del panel modular doble	15
Tabla 2.3 Características del panel losa	17
Tabla 2.4 Características panel escalera	19
Tabla 2.5 Compresión centrada y excéntrica	22
Tabla 2.6 Flexión simple	22
Tabla 2.7 Esfuerzo de corte directo	23
Tabla 2.8 Carga horizontal contenida en el plano y cíclica.	23
Tabla 2.9 Resultados de resistencia al fuego.	26
Tabla 2.10 Aislamiento térmico.	27
Tabla 2.11 Elementos para encofrado de madera	37
Tabla 3.1 Procedencia del agregado fino.	43
Tabla 3.2 Límites granulométricos del agregado fino para uso en morteros.	44
Tabla 3.3 Granulometría arena M1	45
Tabla 3.4 Granulometría arena M2	46
Tabla 3.5 Granulometría arena M3	47
Tabla 3.6 Granulometría arena M4	48
Tabla 3.7 Granulometría arena M5	49
Tabla 3.8 Humedad natural M2 y M3	50
Tabla 3.9 Humedad natural M4 y M5	51
Tabla 3.10 Material que pasa el tamiz No. 200	52
Tabla 3.11 Módulo de finura arena M1	53
Tabla 3.12 Módulo de finura arena M2	54
Tabla 3.13 Módulo de finura arena M3	55
Tabla 3.14 Módulo de finura arena M4	56
Tabla 3.15 Módulo de finura arena M5	57
Tabla 3.16 Absorción del agregado fino	58
Tabla 3.17 Peso unitario de arena M2	59
Tabla 3.18 Contenido orgánico del agregado fino	60
Tabla 3.19 Dosificaciones elaboradas en la PUCE	62
Tabla 3.20 Dosificaciones con arena M2	63
Tabla 3.21 Dosificaciones elaboradas en Tespecon	64
Tabla 3.22 Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 7 días	66
Tabla 3.23 Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 14 días	68
Tabla 3.24 Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 28 días	70
Tabla 3.25 Resistencia a la compresión de morteros Tespecon	72
Tabla 3.26 Dosificación de mortero Tespecon	76
Tabla 3.27 Resistencia a la compresión en probetas Tespecon	80
Tabla 4.1 Cantidades para 1m ³ de mortero PUCE	92
Tabla 4.2 Peso unitario de materiales para mortero	92
Tabla 4.3 Cantidades para 0.623m ³ de mortero PUCE	92
Tabla 4.4 Cantidades de materiales por parada	93
Tabla 4.5 Dosificación por parada de mortero	93
Tabla 4.6 Cantidades para 1m ³ de mortero PUCE	102
Tabla 4.7 Peso unitario de materiales para mortero	102
Tabla 4.8 Cantidades para 0.414m ³ de mortero PUCE	102

	viii
Tabla 4.9 <i>Cantidades de materiales por parada</i>	103
Tabla 4.10 <i>Dosificación por parada de mortero</i>	103
Tabla 4.11 <i>Cantidades de materiales para construcción de una tabiquería</i>	109
Tabla 4.12 <i>Rendimiento de cada rubro</i>	110
Tabla 4.13 <i>Horas hombre para cada rubro</i>	111
Tabla 4.14 <i>Análisis de precios unitarios: timbrado de la superficie</i>	112
Tabla 4.15 <i>Análisis de precios unitarios: chicoteado de la superficie</i>	113
Tabla 4.16 <i>Análisis de precios unitarios: montaje de paneles “hormi2”</i>	114
Tabla 4.17 <i>Análisis de precios unitarios: encofrado y apuntalamiento</i>	115
Tabla 4.18 <i>Análisis de precios unitarios: preparación del mortero</i>	116
Tabla 4.19 <i>Análisis de precios unitarios: vertido del mortero</i>	117
Tabla 4.20 <i>Análisis de precios unitarios: desencofrado del sistema</i>	118
Tabla 4.21 <i>Tiempos para timbrado de la superficie</i>	119
Tabla 4.22 <i>Tiempos para chicoteado de la superficie</i>	120
Tabla 4.23 <i>Tiempos para montaje de paneles “hormi2”</i>	120
Tabla 4.24 <i>Tiempos para encofrado y apuntalamiento</i>	120
Tabla 4.25 <i>Tiempos para preparación del mortero</i>	121
Tabla 4.26 <i>Tiempos para vertido del mortero</i>	121
Tabla 4.27 <i>Tiempos para desencofrado del sistema</i>	121
Tabla 4.28 <i>Resistencia a la compresión de probetas PUCE</i>	122
Tabla 5.1 <i>Rendimiento de cada rubro</i>	123
Tabla 5.2 <i>Horas hombre para cada rubro</i>	124
Tabla 5.3 <i>Análisis de precios unitarios: timbrado de la superficie</i>	125
Tabla 5.4 <i>Análisis de precios unitarios: chicoteado de la superficie</i>	126
Tabla 5.5 <i>Análisis de precios unitarios: montaje de paneles “hormi2”</i>	127
Tabla 5.6 <i>Análisis de precios unitarios: apuntalamiento de paneles</i>	128
Tabla 5.7 <i>Análisis de precios unitarios: preparación del mortero</i>	129
Tabla 5.8 <i>Análisis de precios unitarios: proyección del mortero (1^{era} capa)</i>	130
Tabla 5.9 <i>Análisis de precios unitarios: proyección del mortero (2^{da} capa)</i>	131
Tabla 5.10 <i>Análisis de precios unitarios: terminado</i>	132
Tabla 5.11 <i>Tiempos para timbrado de la superficie</i>	133
Tabla 5.12 <i>Tiempos para chicoteado de la superficie</i>	133
Tabla 5.13 <i>Tiempos para montaje de paneles “hormi2”</i>	133
Tabla 5.14 <i>Tiempos para apuntalamiento de paneles</i>	134
Tabla 5.15 <i>Tiempos para preparación del mortero</i>	134
Tabla 5.16 <i>Tiempos para proyección del mortero (1^{era} capa)</i>	134
Tabla 5.17 <i>Tiempos para proyección del mortero (2^{da} capa)</i>	134
Tabla 5.18 <i>Tiempos para terminado</i>	135
Tabla 5.19 <i>Resistencia a la compresión de mortero PUCE vs “hormi2”</i>	150
Tabla 5.20 <i>Resistencia a la compresión de probetas PUCE</i>	151
Tabla 5.21 <i>Rendimientos y tiempos para 1m² de sistema con mortero vertido</i>	151
Tabla 5.22 <i>Rendimientos y tiempos para 1m² de sistema con mortero proyectado</i>	152
Tabla 5.23 <i>Análisis de precios unitarios para 1 m² de sistema con mortero vertido</i>	152
Tabla 5.24 <i>Análisis de precios unitarios para 1 m² de sistema con mortero proyectado</i> .	153
Tabla 5.25 <i>Suma de tiempos de trabajo del sistema con mortero vertido</i>	153
Tabla 5.26 <i>Suma de tiempos de trabajo del sistema con mortero proyectado</i>	154

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Tipos de paneles	11
<i>Figura 2.</i> Tipos de mallas de refuerzo.....	20
<i>Figura 3.</i> Modulaci3n 1 de encofrado Plastigama.	84
<i>Figura 4.</i> Modulaci3n 2 de encofrado Plastigama.	85
<i>Figura 5.</i> Modulaci3n 1 de probetas para ensayos de resistencia a la compresi3n.	89
<i>Figura 6.</i> Modulaci3n 2 de probetas para ensayos de resistencia a la compresi3n.	90
<i>Figura 7.</i> Modulaci3n 1 de encofrado Renteco.	97
<i>Figura 8.</i> Modulaci3n 2 de encofrado Renteco.	98
<i>Figura 9.</i> Balance de cuadrillas de timbrado de superficie.	135
<i>Figura 10.</i> Balance de cuadrillas para chicoteado de la superficie.	136
<i>Figura 11.</i> Balance de cuadrillas para montaje de paneles hormi2.	136
<i>Figura 12.</i> Balance de cuadrillas de apuntalamiento de paneles.	137
<i>Figura 13.</i> Balance de cuadrillas de preparaci3n del mortero.	137
<i>Figura 14.</i> Balance de cuadrillas de proyecci3n de mortero (1 ^{era} capa).	138
<i>Figura 15.</i> Balance de cuadrillas de proyecci3n de mortero (2 ^{da} capa)	138
<i>Figura 16.</i> Balance de cuadrillas de terminado.	139
<i>Figura 17.</i> Balance de cuadrillas de timbrado de la superficie.	139
<i>Figura 18.</i> Balance de cuadrillas de chicoteado de la superficie.	140
<i>Figura 19.</i> Balance de cuadrillas de montaje de paneles hormi2.	140
<i>Figura 20.</i> Balance de cuadrillas de encofrado y apuntalamiento.	141
<i>Figura 21.</i> Balance de cuadrillas de preparaci3n del mortero.	141
<i>Figura 22.</i> Balance de cuadrillas de vertido del mortero.	142
<i>Figura 23.</i> Balance de cuadrillas de desencofrado del sistema.	142
<i>Figura 24.</i> Diagrama de productividad de timbrado de la superficie.	143
<i>Figura 25.</i> Diagrama de productividad de chicoteado de la superficie.	143
<i>Figura 26.</i> Diagrama de productividad de montaje de paneles hormi2.	144
<i>Figura 27.</i> Diagrama de productividad de apuntalamiento de paneles.	144
<i>Figura 28.</i> Diagrama de productividad de preparaci3n del mortero.	145
<i>Figura 29.</i> Diagrama de productividad de proyecci3n del mortero (1 ^{era} capa).	145
<i>Figura 30.</i> Diagrama de productividad de proyecci3n del mortero (2 ^{da} capa).	146
<i>Figura 31.</i> Diagrama de productividad de terminado.	146
<i>Figura 32.</i> Diagrama de productividad de timbrado de la superficie.	147
<i>Figura 33.</i> Diagrama de productividad de chicoteado de la superficie.	147
<i>Figura 34.</i> Diagrama de productividad de montaje de paneles hormi2.	148
<i>Figura 35.</i> Diagrama de productividad de encofrado y apuntalamiento.	148
<i>Figura 36.</i> Diagrama de productividad de preparaci3n del mortero.	149
<i>Figura 37.</i> Diagrama de productividad de vertido del mortero.	149
<i>Figura 38.</i> Diagrama de productividad de desencofrado del sistema.	150
<i>Figura 39.</i> Diagrama de productividad del sistema hormi2 con mortero vertido.	154
<i>Figura 40.</i> Diagrama de productividad del sistema hormi2 con mortero proyectado.	155

Lista de fotografías

Fotografía 1. Panel para ensayo en Tespecon.....	74
Fotografía 2. Ensayo de vertido manual.....	74
Fotografía 3. Eliminación de burbujas de aire.....	75
Fotografía 4. Culminación de ensayo con vertido manual	75
Fotografía 5. Preparación del mortero.....	77
Fotografía 6. Colocación del mortero en la mini.....	77
Fotografía 7. Vertido del mortero.....	78
Fotografía 8. Finalización del ensayo.....	78
<i>Fotografía 9. Probetas para ensayos de resistencia a la compresión.....</i>	<i>79</i>
Fotografía 10. Montaje de planchas de poliestireno.....	83
Fotografía 11. Armado de las piezas de encofrado.	87
Fotografía 12. Montaje del encofrado.	87
<i>Fotografía 13. Finalización de encofrado y apuntalamiento.....</i>	<i>87</i>
Fotografía 14. Vertido del mortero con mini.....	94
Fotografía 15. Falla en el encofrado de Plastigama.....	95
Fotografía 16. Montaje de planchas de poliestireno.....	96
Fotografía 17. Armado de encofrado metálico.....	99
Fotografía 18. Preparación del mortero.....	104
Fotografía 19. Vertido del mortero.....	104
Fotografía 20. Finalización de vertido de mortero.	105
Fotografía 21. Desencofrado del sistema.	105

Capítulo I: Introducción

La continua búsqueda del bienestar social así como la significativa evolución que ha sufrido la sociedad en los últimos tiempos ha dado como resultado la investigación e implementación de nuevas técnicas de construcción. Sin embargo la sociedad se ha establecido un marcado estereotipo en el ámbito de la construcción, el cual consiste en la típica estructura conformada por hormigón armado y recientemente estructuras metálicas.

El fin de esta investigación no es el de sustituir los sistemas y/o materiales existentes, sino más bien adaptar estos a nuevas técnicas y materiales de manera que se logre una justa optimización en el producto final, así como también en su proceso de realización. Dando paso a una nueva cultura de construcción y eliminando todo estereotipo establecido por la sociedad por la falta de información.

Contar con el vasto conocimiento de cada sistema constructivo es una obligación del profesional de la construcción, quien es el responsable de brindar seguridad y confort (también en el aspecto económico) a sus clientes. El contar con una mayor gama de soluciones constructivas que puedan adaptarse a las necesidades y condiciones específicas de cada proyecto, resultará en una mejor toma de decisiones, así como en una significativa reducción de costos, alcanzando la optimización tan buscada.

“El conocimiento es la base de la creación y de ello depende el correcto desarrollo de una comunidad” (Maldonado, 2010, p.1).

1.1 Antecedentes

El sistema “hormi2” nace de la búsqueda de una alternativa de construcción que nos brinde un ahorro de dinero (tiempo, mano de obra, cantidad de materiales) y que a su vez sea amigable con la naturaleza. De esta manera se obtiene un sistema de paneles modulares

prefabricados por medio del cual podemos obtener gran versatilidad de formas y acabados en obra.

Panecons SA es una empresa conformada por la marca Italiana Emmedue, fundadora del sistema, y con la Mutualista Pichincha; cuya función es la fabricación y comercialización del sistema portante constructivo “hormi2”. Este sistema se desarrolla a partir de la utilización de paneles de poliestireno expandido y mallas de acero electro soldadas colocadas en ambas caras y vinculadas entre sí por conectores del mismo material e iguales características. Su morfología está diseñada para recibir revoque estructural en obra (proyección de mortero) como terminado (Hormi2, 2013).

Esta empresa está equipada con una planta industrial con tecnología de punta ubicada en la ciudad de Latacunga. La fabricación de los paneles del sistema constructivo “hormi2” ha sido utilizada a nivel mundial por más de 35 años con 54 plantas industriales instaladas en los cinco continentes. La compañía Emmedue es ahora reconocida mundialmente por su sistema constructivo y su utilización personalizable para la solución de problemas que satisfacen las necesidades de sus clientes. (Hormi2, 2013).

La finalidad de Panecons SA es proveer un sistema de paneles modulares prefabricados, que además de ahorrar tiempo de construcción y mano de obra, logra resolver en un solo elemento las funciones estructurales y de mampostería, simplificando su ejecución, entregando elevados coeficientes termo-acústicos y gran versatilidad de formas y acabados en obra.

El panel “hormi2” permite una fácil integración con otros sistemas constructivos, es muy liviano, funciona como aislante sonoro y es fácil de maniobrar y montar en obra (Hormi2, 2013).

La simpleza de la implementación del sistema “hormi2” hace que las personas alrededor del mundo tengan la oportunidad de construir casas, edificios y otras estructuras en un corto período de tiempo, con eficiencia energética y respeto hacia el medio ambiente, todo esto sin renunciar a una buena estética y diseño. La empresa fundadora del sistema, ha realizado un análisis comparativo sobre la eficiencia energética entre una edificación tradicional y una con el sistema Emmedue. Este sistema demuestra mejorar el confort térmico interior de las edificaciones, y de esta manera reduce el consumo energético fomentando así un desarrollo sostenible (Emmedue, 2010).

En nuestro país se usa este sistema constructivo desde hace ya 10 años y no solamente para la construcción de viviendas. Los proyectos más destacados en el Ecuador son: hoteles Mashpi Lodge y Holiday Inn; centros comerciales Plaza Lagos Guayaquil; y otras estructuras como las del Banco Bolivariano y las oficinas de Coca Cola (Hormi2, 2013).

Panecons SA busca una continua mejora e innovación en su sistema constructivo, dando como resultado la búsqueda de una alternativa para optimizar rendimientos, productividad y costos en la construcción del sistema “hormi2”.

La alternativa propuesta en esta disertación se basa en la implementación de formaleas como encofrado de los paneles “hormi2”, provocando que de esta manera el mortero sea vertido y no proyectado.

En la fábrica de Panecons SA, en la ciudad de Latacunga, se realizó una prueba de vertido de mortero usando formaleas, sin embargo no se analizó en laboratorio el mortero utilizado en campo. En este ensayo, Panecons SA evaluó únicamente la fluidez del mortero vertido, sin tomar en cuenta la resistencia que éste presentaba, lo cual no proporciona resultados válidos para su implementación en proyectos existentes.

1.2 Justificación

Mediante esta investigación se busca determinar si existe una optimización de rendimientos y reducción de costos en la construcción del sistema portante “hormi2” mediante la implementación de formaletas, para que posteriormente este procedimiento constructivo pueda ser aplicado en el mercado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Comparar rendimientos, productividad, costos y resistencia de los paneles “hormi2” para los dos casos planteados de colocación de mortero: el uno, de uso actual, mediante la proyección de mortero; y, el otro, que se espera implementar a futuro de obtener resultados favorables de la presente investigación, mediante el vertido de mortero usando formaletas como encofrado. Esta investigación está enfocada principalmente para la construcción de tabiquería utilizando paneles “hormi2”.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Seleccionar el mejor tipo de arena a utilizarse para la dosificación de un mortero fluido mediante ensayos de laboratorio.
- Elaboración y selección de un mortero fluido utilizando dos tipos de aditivos (provistos por Sika Ecuatoriana SA y Tespecon Cia. Ltda.) que tenga la resistencia requerida (80 a 100 kg/cm²).
- Evaluación del vertido del mortero y medición de resistencia a compresión para la construcción de un panel en laboratorio, utilizando el sistema portante “hormi2” mediante formaletas y mortero vertido.

- Medición de tiempos, rendimientos y cantidades de obra en la construcción de una tabiquería utilizando el sistema portante “hormi2” mediante formaleas con mortero vertido.
- Análisis de precios unitarios de ambas metodologías de construcción de los sistemas portantes “hormi2”.
- Comparación de los dos sistemas en aspectos de costos, resistencia, rendimiento y productividad.

1.4 Metodología

La investigación se realizará mediante consultas bibliográficas, consultas virtuales, experimentación en laboratorio y en campo con ayuda de las empresas Panecons SA, Sika SA y Tespecon.

Una vez conformada una adecuada base de información, procederemos a identificar cada una de las variables involucradas en la investigación, para posteriormente, realizar los trabajos de laboratorio (Laboratorio de la PUCE, Tespecon) y de campo (fábrica de Panecons SA), para de esta manera obtener resultados válidos.

Los ensayos de laboratorio se realizarán en las áreas de hormigones, cementos y resistencia de materiales del laboratorio de la PUCE.

En el área de hormigones se realizarán: ensayos de granulometría, porcentaje que pasa el tamiz No. 200, contenido orgánico y absorción para cada uno de los cinco tipos de arena a ser utilizada. En el área de cementos se trabajará con las arenas seleccionadas para dar inicio a los ensayos de resistencia a la compresión de morteros para diferentes edades (7, 14 y 28 días), para lo cual se utilizará el aditivo hiperplastificante Viscocrete, provisto por Sika SA. Luego de estos ensayos se seleccionará la arena de mejor comportamiento para realizar

dosificaciones con distintas relaciones agua-cemento (de 3 a 5), con estas se determinará un mortero que cumpla con la resistencia establecida (80 a 100 kg/cm²) y una consistencia fluida para poder ser vertido en los paneles “hormi2”.

Con una dosificación seleccionada, se elaborarán 6 bloques con núcleo de poliestireno expandido, para ensayar la resistencia a la compresión simple, ensayos que se realizarán en el laboratorio de resistencia de materiales de la PUCE. Posteriormente la misma dosificación será utilizada para una prueba de vertido utilizando formaletas (encofrado Plastigama) sobre un panel en forma de “L” de 3,80m de longitud total, en la fábrica de Panecons SA.

Por otro lado, con el auspicio de Panecons SA, en el laboratorio de Tespecon se realizarán distintas dosificaciones utilizando dos de sus aditivos (EPS 3001 U y EPS PREMIX VZ) y un solo tipo de arena. Con esta mezcla se elaborarán bloques con núcleo de poliestireno expandido (ensayos de resistencia a la compresión) y un panel de dimensiones 1,5x1,0x0,15m (ensayo de vertido de mortero).

Luego de evaluar los resultados de los ensayos tanto en la PUCE como en el laboratorio de Tespecon, se seleccionará una de las dos dosificaciones para hacer una prueba de campo. La empresa Panecons SA facilitará el personal, materiales y las instalaciones en su fábrica ubicada en la ciudad de Latacunga (Av. Miguel Iturralde y Alberto Coloma) para la construcción de una tabiquería, en la cual se medirán parámetros como: cuadrilla tipo, tiempos productivos, contributorios, no contributorios, materiales, rendimientos y precios unitarios.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Características del sistema “hormi2”

El sistema “hormi2” fue concebido en Italia a finales de los años 70 debido a la necesidad de proveer sistemas de construcción más rápidos junto con la ventaja de fabricación de materiales industriales.

Este sistema modular está conformado por un núcleo central de poliestireno expandido con dos mallas de acero electro soldado y galvanizado de alta resistencia en ambas caras, unidas entre sí por medio de conectores de acero de las mismas características y propiedades. Por último el sistema posee un revoque de mortero como terminado.

El terminado de este conjunto actualmente es mediante revoque de mortero, sin embargo lo que busca esta investigación es la implementación de un tipo de encofrado (formaletas) para estos paneles, de manera que el terminado se lo realice mediante vertido de mortero.

2.1.1 Elementos constitutivos del sistema constructivo “hormi2”.

2.1.1.1 *Poliestireno.*

El Poliestireno expandido sintetizado es un material que se realiza partiendo del estireno. El estireno es un monómero que se obtiene del petróleo y que también está presente en algunos alimentos como el trigo, las fresas, la carne y el café. El poliestireno se obtiene mediante la polimerización del estireno. Este, antes de la expansión, aparece bajo forma de gránulos de aspecto vidrioso (perlas), con una granulometría que varía de 0,3mm a 2,8mm (Emmedue, 2010).

El poliestireno expandido tiene una densidad que varía de 10 a 15 kg/m³, cortado en fábrica y de superficie ondulada. Este cumple con la función de brindar rigidez al panel para facilitar su instalación y manipulación, además de aportar sus propiedades como aislante térmico y acústico, siendo así la transmisión de calor de 0,7 W/m²oK en un espesor de 10 cm, comparable a un muro de ladrillos de 80 cm. (Maldonado, 2010).

Existen varios espesores de las planchas de poliestireno. El espesor a utilizar depende del aislamiento térmico y acústico requerido y del comportamiento estructural. Mientras mayor es la separación de las dos caras de revoque de mortero mayor es el momento de inercia que existe. El poliestireno no tiene capacidad portante, únicamente transmite los esfuerzos.

2.1.1.2 Acero.

El acero tiene un límite proporcional de fluencia de 5.000 kg/cm², los diámetros varían según el tipo de panel y la dirección considerada. Las mallas y los conectores son electro soldados en fábrica, además la malla de acero siempre deberá sobresalir del borde del panel para permitir su solape con el siguiente y de esta forma lograr que el sistema trabaje como una membrana modular (Maldonado, 2010).

2.1.1.3 Mortero.

Se denomina mortero a la mezcla conformada por un aglomerante (cemento, cal, etc.), agregado fino, agua y de ser necesario algún tipo de aditivo, con el fin de fortalecer ciertas propiedades y características de este mismo (NEC – SE – MP, 2014).

Los componentes que conforman el mortero deberán cumplir las siguientes especificaciones:

- Agregado fino, de hasta 5 mm de dimensión mayor para el mortero, estarán libres de elementos orgánicos e impurezas.
- En general la curva granulométrica del agregado debe estar dentro de los parámetros ASTM para agregado fino de preferencia entre 2 y 5mm.
- Libre de material orgánico.
- Libre de cascajo o arcilla.
- Se debe tomar en cuenta la humedad del Agregado.
- El cemento debe ser tipo portland, fresco y de buena calidad.
- Se recomienda utilizar aditivos plastificantes y en caso de ser necesario retardantes (Maldonado, 2010).

2.1.2 Principales características de los materiales.

El núcleo central de poliestireno expandido tendrá las siguientes propiedades:

- No tóxico.
- Autoextinguible.
- Químicamente inerte.
- No inflamable.
- Reciclable (Emmedue, 2008).

El mortero debe ser de consistencia fluida y la malla de acero electro soldada será de acero trefilado y galvanizado.

2.1.3 Ventajas del sistema constructivo “hormi2”.

- Alto aislamiento térmico y acústico.
- De fácil manejo, transporte y rápido de instalar.

- No requiere mano de obra especializada.
- Ahorro de cimientos y partes estructurales.
- Apto para ser utilizado con los sistemas tradicionales.
- Fácil y rápido montaje de instalaciones eléctricas y sanitarias.
- Paneles dimensionados en diferentes longitudes y espesores.
- Los paneles se empalman de manera monolítica.
- La plancha continua de poliestireno actúa como barrera a la humedad y evita que se formen puentes térmicos.
- Todos sus componentes son ecológicos.
- Eficiencia energética (Emmedue, 2010).

2.1.4 Tipos de paneles “hormi2”.

Los tipos de paneles se muestran en la figura 1 y se describen a continuación.

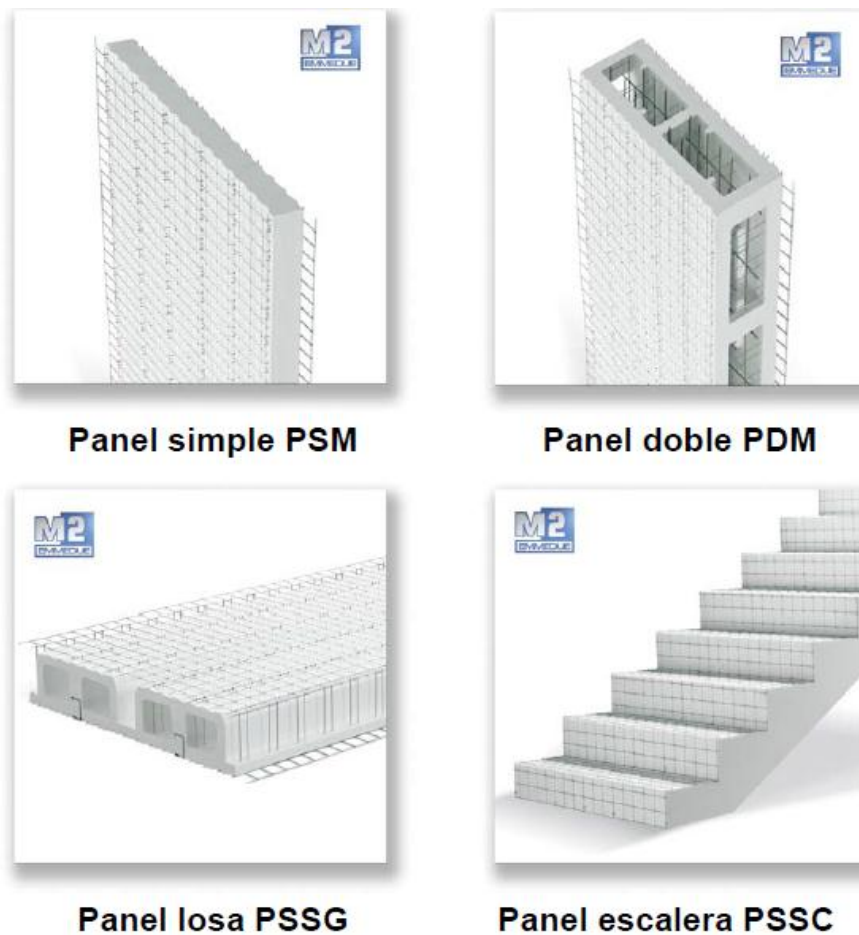


Figura 1. Tipos de paneles. Fuente: Emmedue. (2008). Sistema constructivo Emmedue: Módulo constructivo. Recuperado de: <http://www.mdue.it>

Los paneles “hormi2” presentan una diferente tipología, la cual es relativa a sus campos de aplicación. Por lo que básicamente el espesor del panel se determina en base al aislamiento térmico y comportamiento estructural requerido.

Resultando que un panel de 10 cm de espesor, con un espesor de 4 cm de núcleo de poliestireno expandido con una densidad de 15 kg/m^3 y un espesor de revoque de mortero de 3 cm a cada lado; equivale térmicamente a una pared de ladrillos normales de 64 cm de espesor. Mientras que a mayor distancia se encuentren las caras de revoque de mortero existe un mayor momento de inercia (Emmedue, 2008).

2.1.4.1 Panel modular simple (PSM y PST).

Este tipo de panel se utiliza como estructura de muros portantes (PSM) para construcciones de 4 a 6 pisos, entrepisos y losas de cubierta con luces de hasta 5m. Para paredes estructurales el espesor mínimo de poliestireno es de 4 cm, con un revoque de mortero de 3,5 cm a cada lado y con una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm². Se debe considerar la incorporación de refuerzo adicional en el caso de ser necesario. (Emmedue, 2008).

Este tipo de paneles también es utilizado para la construcción de tabiquería (PST), con un espesor terminado de al menos 9 cm, el cual está conformado por un núcleo de poliestireno de 4 cm de espesor y un revoque de mortero de 2.5 cm de espesor a cada lado. La resistencia a la compresión a los 28 días del mortero que recubre este panel es de 90 kg/cm².

Tabla 2.1

Características del panel modular simple

Nombre del panel	Acero							Densidad poliestireno (kg/m³)	Espesor poliestireno (cm)	Espesor pared terminada (cm)
	Longitudinal		Transversal		De conexión	Características				
	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Esfuerzo de fluencia (kg/cm²)	Esfuerzo de rotura (kg/cm²)			
Panel simple										
Emmedue PSM	2.5 o 3.5	65	2.5	65	3	6120	6935	15	4 a 30	11 a 36
Panel simple										
Emmedue PST	2.5	65	2.5	65	3	6120	6935	15	4 a 10	9 a 15

Nota: Fuente: Emmedue (2008). *Sistema constructivo Emmedue manual operativo*. Recuperado de: <http://www.mdue.it>

2.1.4.2 Panel modular doble (PDM).

Este panel está conformado por dos paneles simples modulares (PSM) unidos entre sí mediante conectores de acero de alta resistencia. El panel modular doble es utilizado como estructura de muros portantes en construcciones de hasta 20 pisos. Está relleno en su interior con un colado de hormigón de una resistencia a la compresión adecuada (mínima 210kg/cm^2) y su terminado exterior es mediante el revoque de mortero. El colado interno de hormigón y las capas externas de mortero están sujetos a las variables y solicitaciones de cada proyecto (Emmedue, 2008).

Tabla 2.2

Características del panel modular doble

Nombre del panel	Acero								Densidad poliestireno (kg/m³)			
	Longitudinal		Transversal		De conexión	Características		Espesor				
	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Esfuerzo de fluencia (kg/cm²)	Esfuerzo de rotura (kg/cm²)	Poliestireno (cm)		Espacio interior (cm)	Pared terminada (cm)	
Panel doble Emmedue PDM												
Malla externa	2.5	65	2.5	65	3	6120	6935	25	5	8 a 20	25 a 37	
Malla interna	5	100	5	260								

Nota: Fuente: Emmedue (2008). *Sistema constructivo Emmedue manual operativo*. Recuperado de: <http://www.mdue.it>

2.1.4.3 Panel losa (PSSG2 Y PSSG3).

Este tipo de paneles son utilizados para la construcción de losas y cubiertas en edificaciones. Se debe colocar acero auxiliar en las vigas correspondientes para el respectivo amarre (Emmedue, 2008).

El ancho estándar de estos paneles tipo losa son de 1.18 m. Estos paneles son utilizados para luces máximas de 9.50 m (Emmedue, 2008).

La geometría de estos paneles es semejante a la de una losa alivianada, conformados por la plancha de poliestireno expandido (con sus respectivas mallas conectadas entre sí) la que toma forma de casetones de alivianamiento, una capa inferior de mortero con un espesor mínimo de 3 cm y una capa superior de hormigón de mínimo 5 cm según lo recomienda el manual constructivo de Emmdue (2008).

Existen dos tipos de paneles de losa: el PSSG2 el cual contiene una nervadura a lo ancho del panel, y el PSSG3 el cual contiene dos nervaduras a lo ancho del panel. Estas nervaduras deben ser reforzadas con acero (determinada por medio del cálculo) y deben ser rellenas con el mismo hormigón de la capa superior del panel (Emmedue, 2008).

Tabla 2.3

Características del panel losa

Nombre del panel	Acero							Densidad poliestireno (kg/m³)	Espesor poliestireno (cm)	Espesor pared terminada (cm)
	Longitudinal		Transversal		De conexión	Características				
	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Esfuerzo de fluencia (kg/cm²)	Esfuerzo de rotura (kg/cm²)			
Panel losa PSSG2 y PSSG3	2.5	65	2.5	65	3	6120	6935	15	12 a 24	20 a 32

Nota: Fuente: Emmedue (2008). *Sistema constructivo Emmedue manual operativo*. Recuperado de: <http://www.mdue.it>

2.1.4.4 Panel escalera (PSSC).

Este tipo de panel está constituido por un bloque de poliestireno expandido, perfilado en planchas cuya dimensión está sujeta a las exigencias requeridas y armado con una doble malla de acero ensamblada, unida al poliestireno por medio de numerosas costuras con conectores de acero soldados por electro fusión (Emmedue, 2008).

Este mismo es armado con la inserción de viguetas con barras nervadas en los espacios dispuestos que son sucesivamente llenados con hormigón. Este panel es usado para la realización de rampas con una luz libre de hasta 6 m (Emmedue, 2008).

Tabla 2.4

Características panel escalera

Nombre del panel	Acero							
	Longitudinal		Transversal		De conexión	Características		Densidad poliestireno (kg/m ³)
	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Separación (mm)	Φ (mm)	Esfuerzo de fluencia (kg/cm ²)	Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)	
Panel escalera Emmedue PSSC	2.5	65	2.5	65	3	6120	6935	15

Nota: Fuente: Emmedue (2008). *Sistema constructivo Emmedue manual operativo*. Recuperado de: <http://www.mdue.it>

2.1.5 Tipos de mallas de refuerzo.

El sistema “hormi2” trabaja como un sistema de membranas modulares, es decir que todo el sistema funciona como un solo módulo. Es por esta razón que se debe utilizar mallas de refuerzo para producir un adecuado amarre entre los distintos tipos de paneles.

La malla de refuerzo es realizada con acero galvanizado y trefilado, con un diámetro de 2.5 mm, utilizándose para reforzar vanos y encuentros en ángulo entre paneles, dando continuidad a la malla estructural. Estas mallas se fijan al panel mediante amarres realizados con alambre de acero o grapas (Emmedue, 2008). Los tipos de mallas de refuerzo se muestran en la figura 2 a continuación.

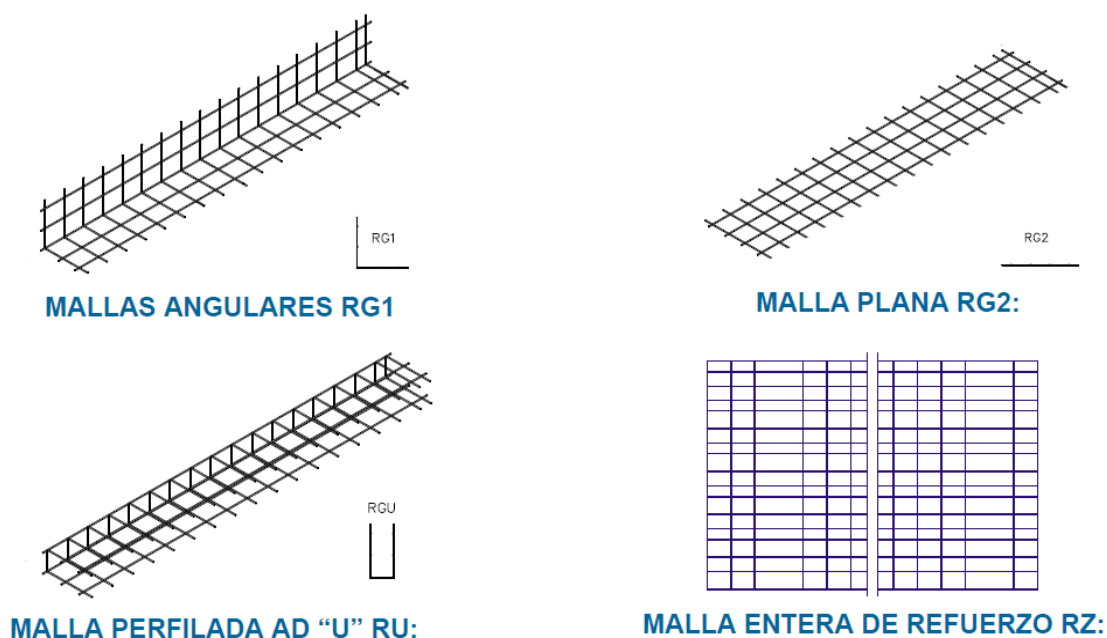


Figura 2. Tipos de mallas de refuerzo. Emmedue (2008). Mallas de refuerzo. Recuperado de <http://www.mdue.it>

2.1.5.1 Malla angular de refuerzo (RG1).

Esta malla tiene un diámetro de 2,5 mm, cubre las uniones angulares entre paredes, pared – losa, losa de entrepiso con pared, losa de cubierta con pared y entre paneles de

cubiertas. Se fija a los paneles con alambre de amarre de acero Nro. 18 o grapas de amarre. Estas se dispondrán 4 unidades por esquina (dos internas y dos externas) (Maldonado, 2010).

2.1.5.2 Malla perfilada tipo “U” (RU).

Esta malla es del mismo material y diámetro que la malla RG1, es usada en los filos que dejan los vanos para la colocación de puertas y ventanas; o en aquellos paneles que queden expuestos. De espesor variable de acuerdo al tipo de panel a cubrir, se fija a estos con alambre de amarre de acero Nro. 18 o grapas de amarre (Maldonado, 2010).

2.1.5.3 Malla plana (RG2).

Este tipo de mallas se utiliza como refuerzo (a 45°) de los vértices de los vanos, reconstituye mallas cortadas y empalma paneles entre sí. La cantidad necesaria es de 2 unidades por puerta y 4 unidades por ventana (Emmedue, 2008).

2.1.5.4 Malla entera de refuerzo (RZ).

Su principal uso es para reconstruir mallas de paneles curvados, sin embargo este tipo de malla puede ser utilizada para aplicaciones varias, según lo considere el profesional.

2.2 Investigaciones realizadas

El sistema Emmedue, está sometido constantemente a ensayos de laboratorio y campo para garantizar superiores niveles de calidad. Estos ensayos se han realizado en los mejores laboratorios internacionales para obtener certificados y homologaciones que validen lo descrito por sus representantes y satisfagan las normativas de construcción de muchos países. Los test realizados incluyen: ensayos de resistencia al fuego, viento, pruebas estáticas, dinámicas, balísticas, entre otras (Emmedue, 2010).

2.2.1 Compresión centrada y excéntrica.

Se llevaron a cabo estos ensayos con una excentricidad de 1/3 del espesor del panel terminado. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 2.5 mostrada a continuación.

Tabla 2.5

Compresión centrada y excéntrica

Espesor panel (cm)	Altura panel (cm)	Carga lineal máxima (kg/m)	
		Compresión centrada	Compresión excéntrica
4	240	77,472	57,696
6	400	60,143	36,697
6	300	115,189	72,069
8	270	136,595	69,317

Nota: Fuente: Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual Técnico "Sistema Constructivo Emmedue"*. Recuperado de <http://suminsa.com>

2.2.2 Flexión simple.

Para flexión simple las configuraciones de los ensayos se plantearon de diversas formas. La muestra es simplemente apoyada en los extremos, es decir su deformación transversal no está restringida y la deflexión no es la propia de placas a flexión. En la Tabla 2.6 se muestran los momentos últimos representativos para cada panel ensayado (Candiracci, Lacayo & Maltez, 2014).

Tabla 2.6

Flexión simple

Espesor panel poliestireno (cm)	Capa de compresión (cm)	Momento último kg*m/m
4	3	826
7	3	1,244
7	3	1,386 (con registro del esfuerzo último corte)
8	3	115,189

Nota: Flecha a la rotura = luz/100. Muestra simplemente apoyada, deformación transversal no restringida. Fuente: Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual Técnico "Sistema Constructivo Emmedue"*. Recuperado de <http://suminsa.com>

2.2.3 Corte directo.

En la Tabla 2.7 se muestran los resultados para ensayos de corte directo.

Tabla 2.7

Esfuerzo de corte directo

Espesor de panel (cm)		Esfuerzo de corte directo (kg/cm ²)
Poliestireno	Terminado	
4	10	15.30
8	15	13.00

Nota: Fuente: Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual Técnico "Sistema Constructivo Emmedue"*. Recuperado de <http://suminsa.com>

2.2.4 Carga horizontal contenida en el plano y carga horizontal cíclica.

Los ensayos de carga horizontal contenida en el plano generalmente se detienen por falla en los elementos de anclaje ya que el comportamiento de los paneles ante esta sollicitación es más que satisfactorio (Candiracci et al., 2014).. Los resultados se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8

Carga horizontal contenida en el plano y cíclica.

Espesor panel poliestireno (cm)	Altura de panel (cm)	Resistencia (Kg)	
		Carga horizontal contenida en el plano	Carga horizontal cíclica
4	240	5,096-10,193	35,677

Nota: Fuente: Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual Técnico "Sistema Constructivo Emmedue"*. Recuperado de <http://suminsa.com>

2.2.5 Impacto blando y duro.

Los ensayos de impacto blando y duro se efectuaron bajo diferentes condiciones de laboratorio. Para el ensayo de impacto blando se han manejado paneles de 4 cm de espesor,

estos absorbieron impactos de 1,250 Joules, con un peso de 50 kg y una altura de caída de 250cm, los paneles no presentan daños y recuperaron las flechas instantáneamente. En el ensayo de impacto duro se demostró un comportamiento óptimo, empleando una esfera de acero de 3.5 kg con una altura de 200 cm (Candiracci et al., 2014).

2.2.6 Carga vertical excéntrica.

En el ensayo de carga vertical excéntrica, los paneles con 4 cm de espesor de poliestireno soportaron momentos de 31 kg*m por 24 horas sin consecuencia alguna (Candiracci et al., 2014).

2.2.7 Ensayos sísmicos.

Los ensayos sísmicos realizados en los paneles Emmedue se han llevado a cabo en varios laboratorios de distintos países, todos con resultados positivos para recomendar el uso seguro del sistema. En el Ecuador se ensayó una vivienda construida integralmente de paneles “hormi2”, en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional. Los resultados de esta prueba fueron favorables ya que satisficieron los requisitos de la normativa ecuatoriana. Candiracci et al. (2014) manifiestan que de acuerdo a estudios sísmicos, una casa construida con el sistema Emmedue soporta aceleraciones horizontales de 10 m/s^2 sin presentar fisuraciones o daños de otro tipo.

2.2.8 Resistencia al fuego.

La resistencia al fuego de los paneles Emmedue ha sido puesta a prueba en diferentes lugares y ocasiones, dando siempre resultados satisfactorios de su capacidad ignífuga. La respuesta de este sistema a agentes externos es similar a la de un sistema convencional ya que está totalmente cubierto de mortero, la ventaja es que a este se le suman las propiedades del

EPS (Maldonado, 2010). Los ensayos de laboratorio se han realizado en condiciones finales de uso del poliestireno, es decir, cuando se encuentra totalmente recubierto de mortero.

El poliestireno aporta una carga de fuego reducida ya que su densidad aparente es baja. La Asociación Argentina del Poliestireno Expandido [AAPE] (2005), afirma que en una unidad de volumen de EPS encontramos material plástico entre 1.5 y 2.5%, el 98% restante es aire. En caso de incendio, la misma unidad de volumen de madera aporta 10 veces más a la carga de fuego que el poliestireno expandido (AAPE, 2005). El potencial riesgo de incendio del EPS lo definen los siguientes factores:

- Densidad y forma del material.
- Vinculación a una fuente de probable ignición.
- Localización del producto.
- Ventilación o disponibilidad de oxígeno (AAPE, 2005).

En una vivienda no se produce inflamación y combustión del EPS cuando este se encuentra protegido por capas de mortero o entre losas de hormigón armado, ya que el poliestireno no cuenta con suficiente oxígeno a su alrededor para completar su combustión (AAPE, 2005).

En la tabla 2.9 se muestran los resultados realizados en los distintos tipos de paneles Emmedue para verificar su resistencia al fuego.

Tabla 2.9

Resultados de resistencia al fuego.

Panel	Espesor pared terminada (cm)	Coefficiente de aislamiento térmico kt (W/m ² °K)	Resistencia al fuego REI	Índice de aislamiento acústico (db)
Simple Emmedue PSM				
PSM40	11	0.803		41
PSM60	13	0.569		
PSM80	15	0.44	150	41
Simple Emmedue PST				
PST40	9	0.812		43
PST60	11	0.571		
PST100	15	0.358		46
Doble Emmedue PDM				
PDM80	23	0.33	150	34
Losa PSSG				
PSSG2		0.376		38
PSSG3		0.366		38
Escalera PSSC				
PSSC			120	

Nota: REI = tiempo que se cumple la estabilidad, integridad y aislamiento térmico. Fuente: Emmedue. (2008). *Sistema constructivo Emmedue: manual operativo*. Recuperado de <http://www.mdue.it>

Se puede concluir que cuando el EPS se utiliza correctamente en las aplicaciones recomendadas, no representa particular riesgo de incendio, ni se destaca por un incremento significativo a la densidad del humo, ni la toxicidad de los estos (AAPE, 2005).

2.2.9 Aislamiento térmico.

Otra de las características de los paneles “hormi2” es el aislamiento térmico, el cual se detalla en la tabla 2.10. Luego de los ensayos se obtuvo que el nivel de aislamiento térmico supera el proporcionado por muros de cerramiento tradicionales.

Tabla 2.10

Aislamiento térmico.

Panel (cm)	kg/m ²	Espesor mortero (cm)	Espesor total muro (cm)	K (W/m ² °K)
4	15	2.5	10	0.879
8				0.483

Nota: Fuente: Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual Técnico “Sistema Constructivo Emmedue”*. Recuperado de <http://suminsa.com>

Las instituciones, universidades y laboratorios en los que se han practicado ensayos para determinar las características del sistema estructural “hormi2”, y gracias a los cuales podemos comparar sus resultados a otros materiales de construcción, se indican a continuación:

- España: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Centro de Ensayos e Investigación del Fuego.
- México: Instituto Mexicano del Cemento y del Mortero de Cemento.
- Chile: Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales.
- Australia: Deakin University, Connel Wagner Institute.
- Italia: Università di Perugia Facoltà di Ingegneria, Università Degli Studi di Padova Facoltà di Ingegneria, Instituto Giordano (Emmedue, 2010).

2.3 Descripción del sistema portante “hormi2” de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido mediante la proyección de mortero

El sistema “hormi2” se caracteriza por ser una técnica innovadora, el cual principalmente nos permite disminuir el peso de la estructura y por ende existe una reducción en el corte basal causado por un sismo debido a que este es proporcional al peso de la estructura. La reducción significativa de peso de la estructura también nos permite disminuir

dimensiones de elementos estructurales, y al existir menos cantidad de material, existe un ahorro en costos (Candiracci et al., 2014).

La modularidad del sistema favorece una absoluta flexibilidad de proyecto y un elevado poder de integración con otros sistemas de construcción. La simplicidad de montaje, extrema ligereza y facilidad de manipulación del panel, permiten la ágil ejecución de cualquier tipología de edificación (Candiracci et al., 2014).

2.3.1 Normativa establecida para el sistema “hormi2”.

El capítulo 8 de la NEC-SE-VIVIENDA (2014) establece el diseño de muros portantes y losas de mortero u hormigón armado con alma de poliestireno, mampostería o alma hueca, para edificaciones de hasta 2 pisos. Mientras que el diseño para edificaciones mayores a 2 pisos está regido por las normas NEC-SE-DS y NEC-SE-HM.

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) establece que este tipo de muros deben estar conformados por la proyección neumática de mortero u hormigón sobre el panel prefabricado de poliestireno, obteniéndose un comportamiento monolítico de todos sus componentes. El diseño del hormigón o mortero se basa en lo establecido por ACI 506 y el refuerzo de malla electro soldada galvanizada se regirá de acuerdo a lo establecido en ACI 318.

Este tipo de muros al estar formados por la yuxtaposición de varios paneles prefabricados, deberán garantizar continuidad mediante malla galvanizada u otro tipo de refuerzo adicional que garantice su comportamiento monolítico. Los muros deben anclarse a los elementos de cimentación, según las regulaciones de diseño de ACI 318 capítulo 12 para longitud de desarrollo y traslape de refuerzo de acero (NEC – SE – VIVIENDA, 2014).

El diseño de los elementos estructurales de dicho sistema se encuentra establecido en la ACI 318 capítulos 10, 11, 14 y la NEC-SE-MP.

2.3.2 Proceso constructivo y de instalación para el sistema “hormi2”.

2.3.2.1 Cimentación.

El sistema portante “hormi2”, como todo sistema estructural, tiene su principio en sus cimentaciones, las cuales tienen la función de transmitir y distribuir las cargas de la estructura al suelo.

Para este sistema el tipo de cimentación a utilizarse debe ser de vigas de cimentación o losa de cimentación, dependiendo de las cargas actuantes y de las propiedades y características mecánicas del suelo. Estos tipos de cimentaciones facilitan la distribución de cargas (Emmedue, 2008).

La NEC – SE - VIVIENDA (2014) establece que el sistema de cimentación considerará el respectivo anclaje y podrán usarse vigas o losas de cimentación para dicho propósito. Se admiten otros sistemas de cimentación como zapatas corridas o mallas de cadenas, siempre y cuando se considere anclaje a la misma por medio de acero.

2.3.2.2 Anclaje de muros a la cimentación.

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) establece que para muros portantes, con o sin alma de poliestireno, de hormigón armado o de mortero armado, se deberá prever anclaje al sistema de riostras de cimentación, con refuerzo de acero como pasadores tipo espigos o insertos, chicotes de anclaje, que cumple con la longitud de desarrollo establecida en ACI 318 capítulos 8, 10, 11 y 13.

Para anclar los muros elaborados con este sistema a la cimentación, se disponen barras de acero en forma alternada con una longitud de anclajes de 7 cm y 33 cm al muro, sumando un total aproximado de 40 cm en cada cara del panel, o lo que determine el cálculo de acuerdo al epóxico que se utilice para realizar este anclaje dentro de la cimentación. La

NEC – SE – VIVIENDA (2014) nos indica utilizar acero para anclaje de diámetro 10 mm mínimo.

El diámetro, longitud de varilla de anclaje y la longitud de perforación y espaciamiento entre anclajes, en la cimentación estarán definidos por un análisis estructural. El anclaje deberá ir siempre recubierto de mortero. La colocación de los chicotes se debe efectuar mediante la inyección de material epóxico utilizando una bomba o pistola manual a inyección (NEC – SE – VIVIENDA, 2014).

2.3.2.3 Montaje de paneles.

Una vez colocados los chicotes, se procede al montaje de los paneles. Para esto se debe comenzar en una esquina y continuar en los dos ejes perpendiculares para conseguir un conjunto estable. Los paneles deben ser amarrados a los chicotes mediante alambre de acero galvanizado, al menos dos amarres por chicote. Los paneles deben ser traslapados y amarrados entre sí logrando de esta manera un solo módulo (Emmedue, 2008).

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) establece que para fijar el acero de anclaje a la malla de los paneles y la malla de continuidad entre paneles, se deben seguir procedimientos de amarre mecánico o manual mediante entorchado de alambre, antes de la proyección del mortero u hormigón sobre el panel, según la norma ACI 318 capítulo 7.

En la caso de la existencia de puertas, ventanas o algún orificio en los paneles, estos deberán ser cortados antes de su montaje para facilitar su proceso (NEC – SE – VIVIENDA, 2014).

2.3.2.4 *Aplome y apuntalamiento de muros y losas.*

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) permite una tolerancia al desplome para muros con alineamiento vertical de $\pm 1.5\%$ de la altura medida desde el nivel de piso terminado hasta el nivel inferior del entrepiso o en su defecto en nivel donde termina el muro.

Se procede así al aplomado de los paneles verticales. Este debe realizarse en la parte posterior a su revoque. El manual del sistema constructivo Emmedue (2008) recomienda que el apuntalamiento debe realizarse a $2/3$ de su altura y en el caso que los muros sean esbeltos el apuntalamiento deberá realizarse a $1/3$ y $2/3$ de su altura.

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) dispone que el apuntalamiento mínimo debe ser tal que mantenga correctamente alineado y fijo el conjunto de paneles durante todo el proceso constructivo, con el fin de evitar movimientos de este conjunto durante la proyección del mortero u hormigón colocándose en una sola cara, de preferencia la interior. Para el apuntalamiento del panel de losas se utilizarán puntales y viguetas cuya parte superior tenga un ancho de contacto con el panel de al menos 20 cm., los mismos que se colocarán máximo a 80 cm entre ejes (NEC – SE – VIVIENDA, 2014).

2.3.2.5 *Instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y especiales.*

Las instalaciones colocadas dentro del panel prefabricado muro y losa, deberán estar embebidas en el poliestireno antes de la proyección del mortero y vertido del hormigón. Para esto se contrae el poliestireno mediante la aplicación de calor utilizando herramienta como quemadores, pistolas de calor o cualquier otro método que garantice la canalización de las instalaciones, controlando que el retiro del poliestireno no sea excesivo. Si al instalar la tubería es necesario retirar la malla básica del panel, esta se deberá reponer mediante la adición de malla de continuidad (NEC-SE-VIVIENDA, 2014).

Para el caso especial de las cajas de breakers, a estas se las adicionará varillas las cuales se sujetarán a la malla del panel; los cajetines eléctricos o demás accesorios hidráulicos pueden ser colocados cortando la malla, empotrándolos en el poliestireno y en el caso de ser necesario se utilizarán plaquetas para atornillado, grapas amuradas, marcos especiales, espuma expansiva o cualquier tipo de fijación que cumpla con los fines (Maldonado, 2010).

Se deben colocar mallas auxiliares en todos los lugares en donde se ha interrumpido la continuidad del panel, ya sea debido a instalaciones sanitarias, hidráulicas, uniones entre paneles o bordes de los vanos (Emmedue 2008).

2.3.2.6 Diseño, elaboración y proyección de mortero.

Los componentes del mortero a utilizarse deben cumplir las especificaciones descritas previamente en las características del sistema “hormi2”. El manual del sistema constructivo Emmedue (2008) establece algunas primicias, las cuales son utilizadas por dicha entidad, entre estas las más considerables a analizar son las siguientes:

- La proporción cemento-arena debe ser de 1:4.
- La relación agua-cemento debe estar entre 0.4 y 0.6.
- El mortero debe presentar una consistencia S2 (normativa europea), es decir que en el ensayo del cono de Abrams deberá existir un asentamiento entre 5 y 9 cm.

El revoque del mortero se lo realiza en dos capas y siempre desde abajo hacia arriba y con movimientos de derecha a izquierda, debido a que de esta forma se evita el descolgado del material y se gana mayor adherencia al panel. La primera capa deberá cubrir la malla metálica y estar adherida adecuadamente al panel, por lo que debe existir una distancia mínima entre la revocadora y el panel. La segunda capa se la realizará 3 horas después y

máximo hasta 8 horas, y en esta se deberán llenar completamente las áreas del panel sobre las cuales descansa en apuntalamiento. El espesor del material deberá ser mínimo de 2.5 cm para tabiquería y de 3.5 cm para paredes portantes medidas desde la malla (Emmedue 2008).

En cuanto a losas la NEC-SE-VIVIENDA (2014) nos indica proyectar la primera capa de mortero u hormigón en la cara inferior de la losa, sin importar la existencia de sus apuntalamientos. Con lo que se logra rigidizar el panel previo al vertido del hormigón en su cara superior (capa de compresión). Para el mortero que se proyectará sobre la primera capa inferior de la losa, la capa de compresión deberá tener una resistencia no menor al 80% de la especificada en planos para proceder a retirar el apuntalamiento.

La NEC-SE-VIVIENDA (2014) establece el diseño del hormigón vertido en la capa superior del panel según lo normado en ACI 318. Este hormigón puede ser preparado en obra o premezclado, cumpliendo que el agregado grueso sea menor a 15 mm o lo especificado en planos estructurales.

Un punto muy importante a tener en cuenta en la construcción del sistema “hormi2” es el curado. Debido a que las capas proyectadas de mortero son de gran longitud en relación a su espesor y además son aplicadas a presión, el proceso de fraguado tiende a acelerarse por lo cual pueden producirse fisuraciones por retracción plástica; por ello se recomienda mojar permanentemente el material en climas cálidos y/o mantener cubierto los paneles con mantos húmedos en clima templado para mantener un correcto grado de humedad superficial en los morteros por un tiempo mínimo de 5 días (Maldonado, 2010).

2.4 Descripción del sistema portante “hormi2” de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido mediante el vertido de mortero utilizando formaletas

Actualmente el proceso constructivo del sistema “hormi2” termina con la proyección de mortero. Sin embargo este método de colocación de mortero produce un cierto desperdicio significativo de material y tiempo, factores que tienen una importante repercusión en la construcción. Lo que se busca con esta investigación es la optimización de estos dos recursos, a través de otro método de colocación de mortero.

Por lo tanto el proceso constructivo del sistema será el mismo existiendo únicamente una variación en la forma de terminado del sistema, el cual se efectuará mediante el vertido de mortero mediante la implementación de formaletas como encofrado de los paneles del sistema.

2.4.1 Diseño de cimbras y encofrados.

ACI (2015) establece que el objeto de las cimbras y encofrados es obtener una estructura que cumpla con la forma, los niveles y las dimensiones de los elementos según lo indicado en los planos de diseño y en las especificaciones. Las cimbras y encofrados deben ser esencial y suficientemente herméticos para impedir la fuga de mortero. Las cimbras y encofrados deben estar adecuadamente arriostrados o amarrados entre sí, de tal manera que conserven su posición y forma.

2.4.2 Tipos encofrados según el material del que están compuestos.

Existen diversos tipos de materiales los cuales pueden emplearse para la construcción de un encofrado, entre estos los más utilizados son la madera, el acero y el plástico.

El tipo de material a elegir para un encofrado depende de ciertos parámetros, los cuales son: el número de usos, la mano de obra involucrada tanto para el armado como para el desarmado, el tiempo de armado, la calidad de las superficies y el elemento estructural a encofrar. Es de aquí donde ciertos materiales se ven aventajados sobre otros.

El material más usado para encofrados es la madera. Esto se debe a que es de fácil accesibilidad y a su bajo costo comparado con otros materiales. Sin embargo un encofrado de madera requiere de mayor mano de obra y tiempo para su armado comparado con uno de acero o de plástico, además que tiene un menor número de usos y mayor cuidado en su desmontaje y mantenimiento.

Otra ventaja del encofrado de acero o de plástico es su acabado, pues este tiene un terminado mucho más sutil que el de madera.

En la actualidad el acero es un material de gran repercusión en la construcción debido a sus fenomenales características y propiedades físicas y mecánicas, no obstante el costo de este es mayor que el del plástico y la madera.

Los encofrados contruidos en obra, generalmente de madera, resultan casi siempre los más económicos, siempre que se trate de una sola utilización; pero en los casos donde vayan a utilizarse paneles de dimensiones normalizadas un gran número de veces, suele ser más económico emplear encofrados prefabricados de acero o plástico.

2.4.2.1 Encofrado de madera.

Estos encofrados tienen la peculiaridad que son hechos en obra. Son encofrados muy livianos y fáciles de fabricar. Este tipo de encofrados son muy utilizados en obras pequeñas y medianas donde el costo de su construcción es menor que el alquiler del encofrado. Además son utilizados para la construcción de elementos con diseños específicos y únicos sin

importar la envergadura de la obra. Para su manufactura se utiliza madera tradicional, aglomerada y contrachapada (Ayala, Chimbo y Yaguana, 2010). Los elementos que se utilizan para el armado de cualquier encofrado de madera se presentan en la tabla 2.11 a continuación:

Tabla 2.11

Elementos para encofrado de madera

Elementos de encofrado	Dimensión comercial (mm)	Usos
Alfajía de eucalipto	6x6x240	Encofrados de hormigón masivo
1/2 alfajía de eucalipto	6x4x240	Encofrados de hormigón masivo, tableros, losas, columnas
Cuartón de monte	6x4x240	Tableros de encofrado
Tira de eucalipto	3x2x240	Cubiertas de teja, tireado de madera para teja de barro
	2x2x240	
Riel rústica de eucalipto	15x2x240	Encofrados de columnas, vigas, tableros de hormigones no vistos
Riel eucalipto cepillada	15x2x240	Encofrados de columnas, vigas, tableros de hormigones visto, obras preliminares
Duela de eucalipto machihembrada	11x2x240	Entablados de entepiso, cubiertas, tableros de hormigón visto
1/2 duela machihembrada de eucalipto	5x2x240	Encofrado de pisos, cubiertas, tableros de hormigón visto, columnas circulares
Tablón de monte	14x4x240	Andamios, encofrado contrahuellas de gradas
Tablero de monte	25x2x240	Encofrados en general
	20x2x240	
Tablero contrachapado (25mm)	122x240	Tableros de encofrado
Contrachapado (18mm)	122x244x18	Tableros de encofrado de hormigón visto, hormigón masivo
Puntal de eucalipto	L=250 y 300 D= 50 a 70	Apuntalamiento
Pingo eucalipto	L= 400, 500, 600 y 700	Anclajes de encofrado
	D= 70 a 100	
Alambre galvanizado	N°18	Amarrar, sujetar encofrados, armar aceros de refuerzo
Alambre recocido	N°18	Amarrar, sujetar encofrados, armar aceros de refuerzo
Clavos (2" y 2 1/2")	50 y 62,5	Encofrados de hormigón masivo

Nota: L=Longitud, D= Diámetro.

2.4.2.1.1 Ventajas del encofrado de madera.

- Económico para obras pequeñas y medianas.
- Permite producir prácticamente elementos con cualquier geometría.
- Es de fácil montaje.
- Bajo peso en relación a su resistencia.
- Se encuentra fácilmente en el mercado (Ayala et al., 2010).

2.4.2.1.2 Desventajas del encofrado de madera.

- El uso excesivo de clavos y tornillos debilita la madera.
- En obras de gran magnitud puede retrasar el trabajo, al tener que fabricarse.
- Necesita de mantenimiento periódico para su reutilización.
- Poca vida útil si no se tiene cuidado al desencofrar (Ayala et al., 2010).

2.4.2.2 Encofrado de plástico.

Este tipo de encofrados son modulares, y debido a su composición, son los más amigables con el medio ambiente. Estos encofrados están conformados principalmente por plástico y reforzados por fibra de vidrio (Plastigama, 2015).

La tipología estructural de los paneles de este tipo de encofrado consiste en un tablero reforzado a través de celdas, las cuales funcionan como elementos resistentes a la flexión en los dos sentidos y cuyo propósito es el de distribuir la carga en todo el panel, lo cual mejora notablemente su resistencia. La distribución de las celdas, así como sus dimensiones son variadas y se diferencian entre los paneles aplicados para losas y para columnas, muros o paredes portantes y tabiquería (Plastigama, 2015)

Las dimensiones de los paneles por los cuales está conformado un encofrado plástico varían de acuerdo al proveedor. Para esta investigación se utilizaron encofrados plásticos proporcionados por la empresa Plastigama.

2.4.2.2.1 Ventajas del encofrado plástico.

- Se los puede moldear en formas.
- Permite un buen terminado.
- Son livianos y fácilmente desmontables.
- No presentan problemas de corrosión.
- Al ser reciclables son amigables con el medio ambiente.
- De fácil limpieza y mantenimiento.
- Al ser un material dócil hay menos riesgo de sufrir accidentes.
- El armado es modular, fácil y rápido (Ayala et al., 2010).

2.4.2.3 Encofrado metálico.

Este tipo de encofrado es el más costoso pero puede ser utilizado muchas veces, por lo que su costo-beneficio resulta muy rentable para obras en donde los elementos a construir conserven las mismas dimensiones. Este tipo de encofrado es muy rápido y fácil de montar. El acabado de la superficie es liso.

El encofrado metálico está compuesto por cierto número de piezas rígidas, que sólo pueden adaptarse a una forma determinada (Symons, 2009). Las dimensiones de los paneles por los cuales está conformado un encofrado metálico varían de acuerdo al proveedor. Para esta investigación se utilizaron encofrados metálicos tipo Steel – Ply Symons, proporcionados por la empresa Renteco.

2.4.2.3.1 Ventajas del encofrado metálico.

- Rápido armado y desarmado.
- Tienen un elevado número de usos.
- Gran capacidad de carga.
- Se obtienen superficies lisas (Ayala et al., 2010).

2.4.3 Apuntalamiento de encofrados.

Todos los encofrados independientemente del material por el que estén conformados necesitan contar con un adecuado apuntalamiento, el cual proporcionará mayor rigidez a estos y permitirá que mantengan la forma deseada.

El apuntalamiento se lo realiza mediante puntales de madera o acero y deben ser adecuadamente fijados al encofrado y a una superficie de apoyo.

2.4.4 Vertido de mortero.

El vertido del mortero se lo realizará a través de una bomba, por lo que este debe cumplir ciertas especificaciones para que pueda fluir adecuadamente hasta llegar al punto de colocación. Un mortero manejable y de buena calidad permitirá que la máquina trabaje sin sobrecargas ni otros inconvenientes.

En esta investigación se utilizó la bomba Turbosol mini Avant G. Esta maquinaria es la solución ideal para bombear, transportar y aplicar morteros. La mini Avant G. permite transportar hasta el punto de colocación una gama de morteros comunes, a base de cal y/o cemento, morteros premezclados a base de cemento, morteros ligeros aislantes térmico-acústicos-ignífugos y morteros a base de cemento especiales (Turbosol Produzione spa, s.f.).

El parámetro más relevante a tomar en cuenta para que la mini produzca un adecuado bombeado del mortero, es el tamaño máximo del agregado fino. Panecons SA sugiere que este no sea mayor que 12 mm.

Otros parámetros a tomar en cuenta:

- El mortero debe ser diseñado de tal forma que presente una adecuada consistencia del tal forma que permita un correcto bombeado. Un mortero seco presentará problemas al fluir.
- El mortero debe ser correctamente mezclado antes de ser colocado en la mini.
- La mini debe ser lavada con agua antes y después de su uso.

Capítulo III: Pruebas de Laboratorio

En este capítulo se describen los ensayos realizados en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en las áreas de: hormigones, cementos y resistencia de materiales. Las pruebas de laboratorio se realizaron con el propósito de establecer las propiedades físicas y mecánicas de: agregados, morteros y probetas con núcleo de EPS, respectivamente. Adicionalmente, se describen los ensayos realizados en los laboratorios de Tespecon SA, los cuales se realizaron simultáneamente con los de la PUCE. Con los resultados obtenidos se dará paso a la siguiente etapa de esta investigación, que es la de ensayos en campo con los materiales y mezclas de mejor comportamiento teórico.

3.1 Selección de la arena óptima para la obtención de un mortero fluido

Para que el vertido a través de las formaleas se dé sin inconvenientes en los ensayos, el mortero a utilizarse debe ser suficientemente fluido para filtrarse por un espacio de 2.5 cm entre la pared interna de la formalea y el poliestireno expandido; de igual manera debe trabajar sin interrupciones con la maquinaria utilizada para bombear la mezcla. Para desarrollar el mortero fluido que cumpla con los requisitos mencionados, se buscará una arena fina que facilite los procesos de mezcla, bombeo y vertido del mortero. Con estos antecedentes se da inicio a los ensayos de laboratorio para lograr una mezcla de arena, cemento y agua que cumpla con las condiciones de ensayo requeridas.

Para iniciar los ensayos de laboratorio del agregado fino, se tomaron muestras de cinco diferentes tipos de arena en el norte de la provincia de Pichincha. Una de ellas proviene de la mina de Cochasquí y las cuatro restantes, de minas en San Antonio de Pichincha. Para determinar las propiedades físicas de la arena, los ensayos realizados fueron: granulometría,

material que pasa el tamiz No. 200, módulo de finura, porcentaje de absorción y contenido orgánico.

Una breve descripción de la procedencia de los agregados se muestra a continuación en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1

Procedencia del agregado fino.

Muestras	Descripción
M1	Arena Fina, Mina Cochasquí
M2	Arena Fina, Mina Fucusucu V
M3	Polvo Rosado, Mina Fucusucu V
M4	Polvo Rosado, Mina el Guabo
M5	Polvo Rosado, Mina Fucusucu III

Para los ensayos de laboratorio realizados, las normas en las que hemos basado el procedimiento y cálculo de resultados son:

- Humedad natural: ASTM C566-13 y NTE INEN 0862:2011.
- Granulometría de los agregados: ASTM C136/C136M-14, C144-11 y NTE INEN 696:2011, 2536:2010.
- Módulo de finura: ASTM C136/C136M-14 y NTE INEN 0696:2011.
- Material que pasa el tamiz No. 200: ASTM C117-13 y NTE INEN 0697:2010.
- Absorción del agregado fino: ASTM C128-15 y NTE INEN 0856:2010.
- Peso unitario: ASTM C29/C29M-09 y NTE INEN 0858:2010.
- Contenido orgánico de la arena: ASTM C40/C40M-11 y NTE INEN 0855:2010

La norma ASTM C144 (2011) establece una curva granulométrica para agregados de uso en morteros, esta curva relaciona la abertura de tamices vs. el porcentaje que pasa por cada uno: de acuerdo a esta norma en la curva granulométrica, el agregado fino debe cumplir con los límites establecidos en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Límites granulométricos del agregado fino para uso en morteros.

Tamiz	Porcentaje que pasa
4.75mm (No. 4)	100
2.36mm (No. 8)	95 a 100
1.18mm (No. 16)	70 a 100
600µm (No. 30)	40 a 75
300µm (No. 50)	20 a 40
150µm (No. 100)	10 a 25
75µm (No. 200)	0 a 10

Nota: Fuente: American Society for Testing and Materials (2011). *Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar C144-11*. Recuperado de <http://www.astm.org>

De la misma manera, en nuestro país las normas INEN establecen límites para la curva granulométrica del agregado fino para uso en morteros. Estos límites son iguales a los de la norma ASTM ya que la fuente de información de la norma ecuatoriana, es la norma americana.

A continuación se muestran los resultados para los diferentes ensayos realizados en los laboratorios de la PUCE, estos se muestran en las tablas 3.3 a la 3.18.

Granulometría arena M1

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Cochasquí

DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: M1

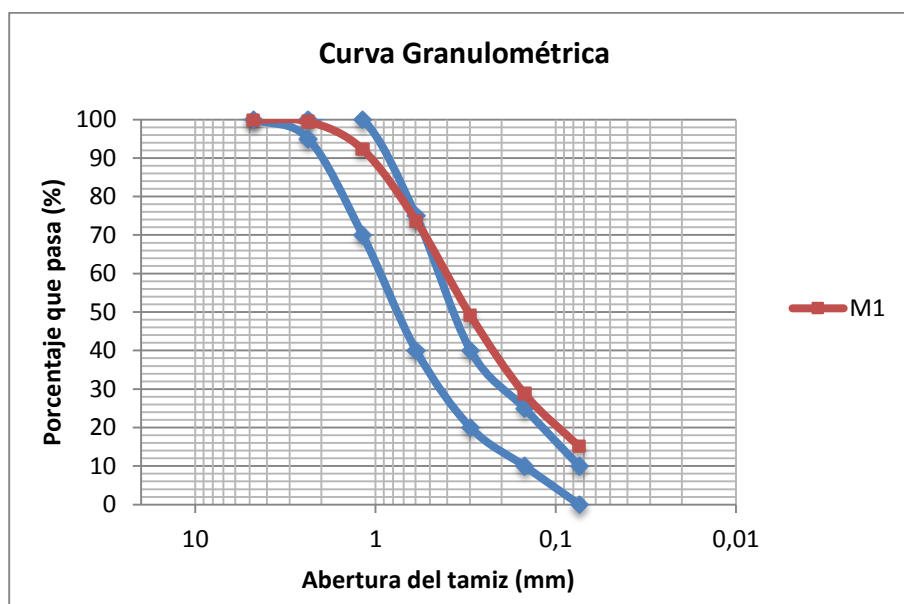
FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4	4.75	0.45	0.45	0.09	99.91
8	2.36	2.29	2.74	0.55	99.45
16	1.18	36.23	38.97	7.76	92.24
30	0.595	93.06	132.03	26.29	73.71
50	0.297	123.73	255.76	50.93	49.07
100	0.149	101.82	357.58	71.20	28.80
200	0.074	68.88	426.46	84.92	15.08
PASA No. 200		62.12	488.58	97.29	2.71
SUMA		488.58			



NOTAS: Masa de la muestra = 502.19 g.

Granulometría arena M2

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu V

DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: M2

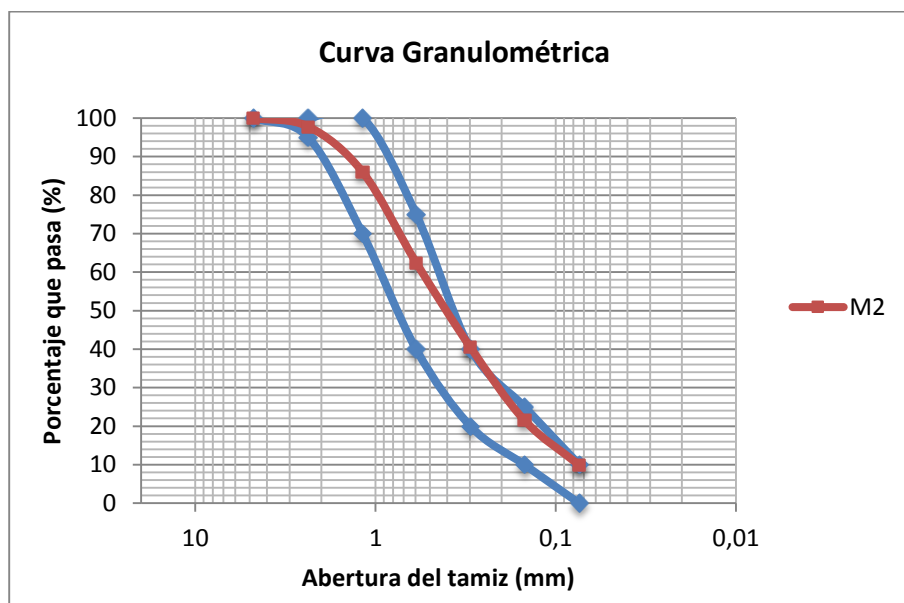
FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	11.08	11.08	2.21	97.79
16	1.18	59.19	70.27	14.01	85.99
30	0.595	118.00	188.27	37.54	62.46
50	0.297	110.43	298.70	59.55	40.45
100	0.149	94.99	393.69	78.49	21.51
200	0.074	58.39	452.08	90.13	9.87
PASA No. 200		45.07	497.15	99.12	0.88
SUMA		497.15			



NOTAS: Masa de la muestra = 501.56 g.

Granulometría arena M3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu V

DESCRIPCIÓN: Polvo rosado

MUESTRA: M3

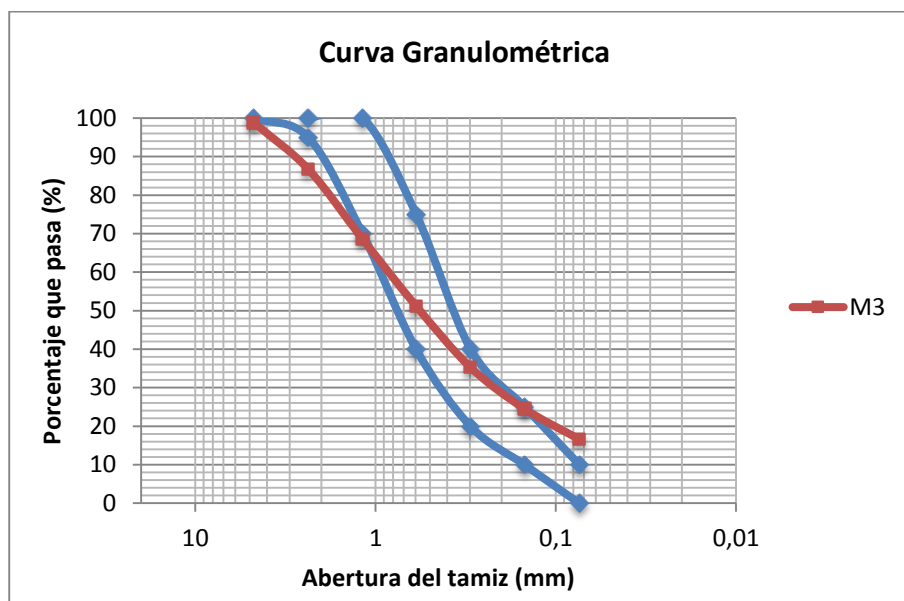
FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4	4.75	5.70	5.70	1.14	98.86
8	2.36	61.08	66.78	13.31	86.69
16	1.18	90.83	157.61	31.42	68.58
30	0.595	87.32	244.93	48.83	51.17
50	0.297	79.82	324.75	64.75	35.25
100	0.149	53.92	378.67	75.50	24.50
200	0.074	39.64	418.31	83.40	16.60
PASA No. 200		79.06	497.37	99.16	0.84
SUMA		497.37			



NOTAS: Masa de la muestra = 501.56 g.

Granulometría arena M4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo rosado

MUESTRA: M4

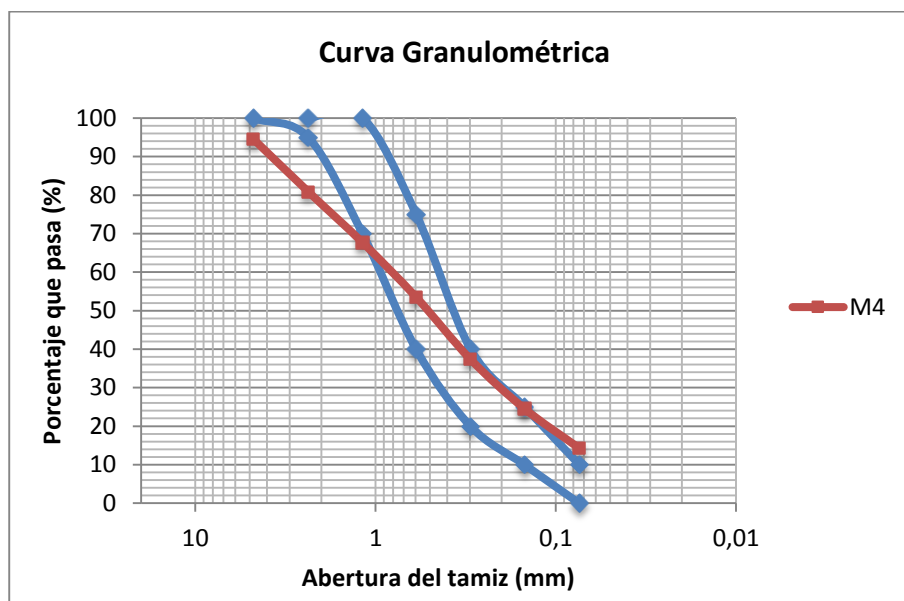
FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4	4.75	28.19	28.19	5.55	94.45
8	2.36	69.14	97.33	19.16	80.84
16	1.18	66.94	164.27	32.34	67.66
30	0.595	72.08	236.35	46.53	53.47
50	0.297	81.90	318.25	62.66	37.34
100	0.149	65.11	383.36	75.48	24.52
200	0.074	52.12	435.48	85.74	14.26
PASA No. 200		67.22	502.70	98.98	1.02
SUMA		502.70			



NOTAS: Masa de la muestra = 507.90 g.

Granulometría arena M5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu III

DESCRIPCIÓN: Polvo rosado

MUESTRA: M5

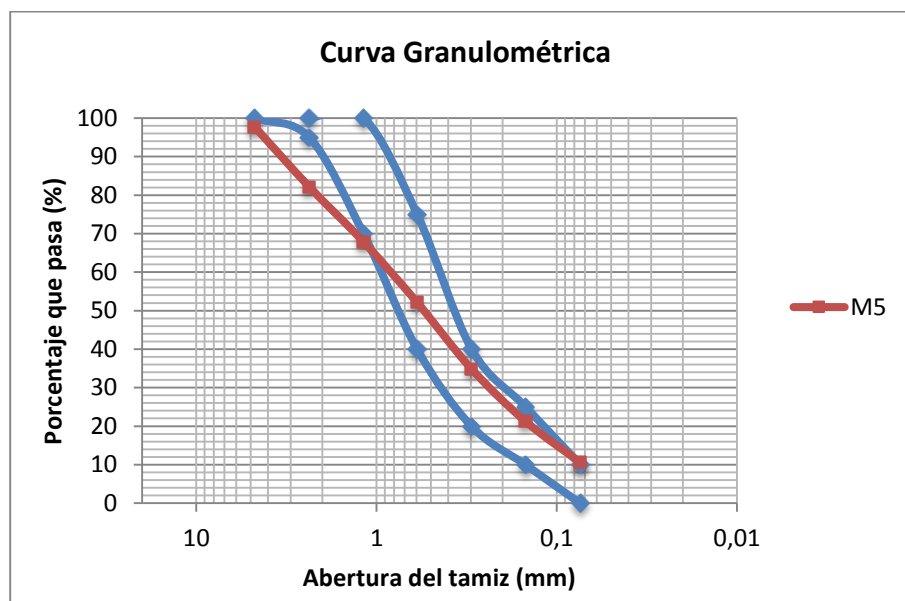
FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

GRANULOMETRÍA POR MALLAS

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4	4.75	11.85	11.85	2.28	97.72
8	2.36	80.85	92.70	17.87	82.13
16	1.18	74.00	166.70	32.14	67.86
30	0.595	81.56	248.26	47.86	52.14
50	0.297	89.54	337.80	65.12	34.88
100	0.149	70.54	408.34	78.72	21.28
200	0.074	55.60	463.94	89.44	10.56
PASA No. 200		48.67	512.61	98.82	1.18
SUMA		512.61			



NOTAS: Masa de la muestra = 518.71 g.

Humedad natural M2 y M3

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.</p> <p>ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Mina Fucusucu V DESCRIPCIÓN: Arena fina y polvo rosado</p> <p>MUESTRAS: M2 y M3 FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015</p> <p>NORMA: ASTM C566-13 ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones</p> <p>PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL</p> $W \% = \frac{B}{A} \times 100$ <p>MASA DE AGUA = (MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA) – (MASA SECA DE LA MUESTRA)</p> <table> <tr> <th>MUESTRA No.</th><th>M2 - 1</th><th>M2 - 2</th><th>M3 - 1</th><th>M3 - 2</th></tr> <tr> <td>MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA (g)</td><td>122.91</td><td>135.81</td><td>77.73</td><td>99.51</td></tr> <tr> <td>A</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>MASA SECA DE LA MUESTRA (g)</td><td>121.01</td><td>133.7</td><td>76.33</td><td>97.71</td></tr> <tr> <td>B</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>MASA DE AGUA (g)</td><td>1.9</td><td>2.11</td><td>1.4</td><td>1.8</td></tr> <tr> <td>W %</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL</td><td>1.57</td><td>1.58</td><td>1.83</td><td>1.84</td></tr> </table> <p><i>Humedad natural M2 = 1.58%</i></p> <p><i>Humedad natural M3 = 1.84%</i></p> <p>NOTAS:</p>					MUESTRA No.	M2 - 1	M2 - 2	M3 - 1	M3 - 2	MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA (g)	122.91	135.81	77.73	99.51	A					MASA SECA DE LA MUESTRA (g)	121.01	133.7	76.33	97.71	B					MASA DE AGUA (g)	1.9	2.11	1.4	1.8	W %					PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL	1.57	1.58	1.83	1.84
MUESTRA No.	M2 - 1	M2 - 2	M3 - 1	M3 - 2																																								
MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA (g)	122.91	135.81	77.73	99.51																																								
A																																												
MASA SECA DE LA MUESTRA (g)	121.01	133.7	76.33	97.71																																								
B																																												
MASA DE AGUA (g)	1.9	2.11	1.4	1.8																																								
W %																																												
PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL	1.57	1.58	1.83	1.84																																								

Humedad natural M4 y M5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Mina Fucusucu V

DESCRIPCIÓN: Arena fina y polvo rosado

MUESTRAS: M4 y M5

FECHA DEL ENSAYO: 02-07-2015

NORMA: ASTM C566-13

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL

$$W \% = \frac{B}{A} \times 100$$

MASA DE AGUA = (MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA) – (MASA SECA DE LA MUESTRA)

MUESTRA No.	M4 - 1	M4 - 2	M5 - 1	M5 - 2
MASA HÚMEDA DE LA MUESTRA (g)	115.00	91.09	103.84	85.00
A MASA SECA DE LA MUESTRA (g)	108.64	85.95	101.02	82.68
B MASA DE AGUA (g)	6.36	5.14	2.82	2.32
W % PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL	5.85	5.98	2.79	2.81

*Humedad natural M4 = 5.92%**Humedad natural M5 = 2.80%*

NOTAS:

Material que pasa el tamiz No. 200

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Minas Cochasquí, Fucusucu V, Fucusucu III y El Guabo

MUESTRAS: M1, M2, M3, M4 y M5

FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015

NORMA: ASTM C117-13

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ No. 200

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

B: MASA SECA DE LA MUESTRA (g)

C: MASA SECA DE LA MUESTRA RETENIDA EN EL TAMIZ No. 200 (g)

A: PORCENTAJE DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ No. 200

ARENA	B	C	A
M1	325.55	97.17	70.15
M2	314.47	260.40	17.19
M3	315.55	256.89	18.59
M4	313.72	252.30	19.58
M5	318.49	264.67	16.90

NOTAS:

Módulo de finura arena M1

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Cochasquí

DESCRIPCIÓN: Arena fina

MUESTRA: M1

FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\Sigma \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N}^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)
4	4.75	0.45	0.45	0.09
8	2.36	2.29	2.74	0.55
16	1.18	36.23	38.97	7.76
30	0.595	93.06	132.03	26.29
50	0.297	123.73	255.76	50.93
100	0.149	101.82	357.58	71.20

$$MF = 1.57$$

NOTAS: Masa de la muestra = 502.19 g.

Módulo de finura arena M2

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.</p> <p>ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu V DESCRIPCIÓN: Arena fina</p> <p>MUESTRA: M2 FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015</p> <p>NORMA: ASTM C136/C136M-14 ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones</p> <p>MÓDULO DE FINURA</p> $MF = \frac{\Sigma \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N}^\circ 4 + N^\circ 8 + N^\circ 16 + N^\circ 30 + N^\circ 50 + N^\circ 100)}{100}$ <table> <tr> <th>MALLA No.</th><th>ABERTURA (mm)</th><th>MASA RETENIDA PARCIAL (gr)</th><th>MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)</th><th>PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)</th></tr> <tr> <td>4</td><td>4.75</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> <tr> <td>8</td><td>2.36</td><td>11.08</td><td>11.08</td><td>2.21</td></tr> <tr> <td>16</td><td>1.18</td><td>59.19</td><td>70.27</td><td>14.01</td></tr> <tr> <td>30</td><td>0.595</td><td>118.00</td><td>188.27</td><td>37.54</td></tr> <tr> <td>50</td><td>0.297</td><td>110.43</td><td>298.70</td><td>59.55</td></tr> <tr> <td>100</td><td>0.149</td><td>94.99</td><td>393.69</td><td>78.49</td></tr> </table> <p>$MF = 1.92$</p> <p>NOTAS: Masa de la muestra = 501.56 g.</p>					MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	4	4.75	0.00	0.00	0.00	8	2.36	11.08	11.08	2.21	16	1.18	59.19	70.27	14.01	30	0.595	118.00	188.27	37.54	50	0.297	110.43	298.70	59.55	100	0.149	94.99	393.69	78.49
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)																																			
4	4.75	0.00	0.00	0.00																																			
8	2.36	11.08	11.08	2.21																																			
16	1.18	59.19	70.27	14.01																																			
30	0.595	118.00	188.27	37.54																																			
50	0.297	110.43	298.70	59.55																																			
100	0.149	94.99	393.69	78.49																																			

Módulo de finura arena M3

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.</p> <p>ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu V DESCRIPCIÓN: Polvo rosado</p> <p>MUESTRA: M3 FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015</p> <p>NORMA: ASTM C136/C136M-14 ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones</p> <p>MÓDULO DE FINURA</p> $MF = \frac{\Sigma \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N}^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$ <table> <tr> <th>MALLA No.</th><th>ABERTURA (mm)</th><th>MASA RETENIDA PARCIAL (gr)</th><th>MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)</th><th>PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)</th></tr> <tr> <td>4</td><td>4.75</td><td>5.70</td><td>5.70</td><td>1.14</td></tr> <tr> <td>8</td><td>2.36</td><td>61.08</td><td>66.78</td><td>13.31</td></tr> <tr> <td>16</td><td>1.18</td><td>90.83</td><td>157.61</td><td>31.42</td></tr> <tr> <td>30</td><td>0.595</td><td>87.32</td><td>244.93</td><td>48.83</td></tr> <tr> <td>50</td><td>0.297</td><td>79.82</td><td>324.75</td><td>64.75</td></tr> <tr> <td>100</td><td>0.149</td><td>53.92</td><td>378.67</td><td>75.50</td></tr> </table> <p>$MF = 2.35$</p> <p>NOTAS: Masa de la muestra = 501.56 g.</p>					MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	4	4.75	5.70	5.70	1.14	8	2.36	61.08	66.78	13.31	16	1.18	90.83	157.61	31.42	30	0.595	87.32	244.93	48.83	50	0.297	79.82	324.75	64.75	100	0.149	53.92	378.67	75.50
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)																																			
4	4.75	5.70	5.70	1.14																																			
8	2.36	61.08	66.78	13.31																																			
16	1.18	90.83	157.61	31.42																																			
30	0.595	87.32	244.93	48.83																																			
50	0.297	79.82	324.75	64.75																																			
100	0.149	53.92	378.67	75.50																																			

Módulo de finura arena M4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina El Guabo

DESCRIPCIÓN: Polvo rosado

MUESTRA: M4

FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\Sigma \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)
4	4.75	28.19	28.19	5.55
8	2.36	69.14	97.33	19.16
16	1.18	66.94	164.27	32.34
30	0.595	72.08	236.35	46.53
50	0.297	81.90	318.25	62.66
100	0.149	65.11	383.36	75.48

$$MF = 2.42$$

NOTAS: Masa de la muestra = 507.90 g.

Módulo de finura arena M5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema "hormi2".

ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu III

DESCRIPCIÓN: Polvo rosado

MUESTRA: M5

FECHA DEL ENSAYO: 03-07-2015

NORMA: ASTM C136/C136M-14

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{\Sigma \text{Porcentaje retenido acumulado (3/8" + N}^\circ 4 + N^\circ 8 + N^\circ 16 + N^\circ 30 + N^\circ 50 + N^\circ 100)}{100}$$

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)
4	4.75	11.85	11.85	2.28
8	2.36	80.85	92.70	17.87
16	1.18	74.00	166.70	32.14
30	0.595	81.56	248.26	47.86
50	0.297	89.54	337.80	65.12
100	0.149	70.54	408.34	78.72

$$MF = 2.44$$

NOTAS: Masa de la muestra = 518.71 g.

Absorción del agregado fino

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.</p> <p>ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Minas Fucusucu V, Fucusucu III y El Guabo</p> <p>MUESTRAS: M2. M3. M4 y M5</p> <p>NORMA: ASTM C128-15</p> <p>FECHA DEL ENSAYO: 06-07-2015</p> <p>ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones</p> <p>ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</p> $Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$ <p>Ab: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN</p> <p>A: MASA SECA DE LA MUESTRA</p> <p>B: MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA</p> <table> <tr> <th>MUESTRA</th><th>B</th><th>A</th><th>% DE ABSORCIÓN</th></tr> <tr> <td>M2</td><td>525.30</td><td>479.50</td><td>9.55</td></tr> <tr> <td>M3</td><td>552.15</td><td>508.23</td><td>8.64</td></tr> <tr> <td>M4</td><td>539.57</td><td>490.29</td><td>10.05</td></tr> <tr> <td>M5</td><td>533.04</td><td>484.66</td><td>9.98</td></tr> </table> <p>NOTAS:</p>				MUESTRA	B	A	% DE ABSORCIÓN	M2	525.30	479.50	9.55	M3	552.15	508.23	8.64	M4	539.57	490.29	10.05	M5	533.04	484.66	9.98
MUESTRA	B	A	% DE ABSORCIÓN																				
M2	525.30	479.50	9.55																				
M3	552.15	508.23	8.64																				
M4	539.57	490.29	10.05																				
M5	533.04	484.66	9.98																				

Peso unitario de arena M2

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	
<p>PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.</p>	
ORIGEN DE LA MUESTRA: Mina Fucusucu V	DESCRIPCIÓN: Arena fina
MUESTRA: M2	FECHA DEL ENSAYO: 08-07-2015
NORMA: ASTM C29/C29M-14	ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones
<p>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</p>	
$\text{Peso unitario suelto} = \frac{A - M}{V}$	
$\text{Peso unitario compacto} = \frac{B - M}{V}$	
MASA DEL MOLDE	M = 5.05 kg
MASA DEL MOLDE + ARENA SUELTA	A = 9.28 kg
MASA DEL MOLDE + ARENA COMPACTADA	B = 9.84 k
VOLUMEN DEL MOLDE	V = 0.00298 m ³
$\text{Peso unitario suelto} = 1417.79 \text{ kg/m}^3$	
$\text{Peso unitario compacto} = 1607.38 \text{ kg/m}^3$	
<p>NOTAS:</p>	

Contenido orgánico del agregado fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO: Tesis de evaluación de productividad del sistema “hormi2”.

ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Minas Fucusucu V, Fucusucu III y El Guabo

MUESTRAS: M2, M3, M4 y M5

FECHA DEL ENSAYO: 08-07-2015

NORMA: ASTM C40/C40M-11

ÁREA DE LABORATORIO: Hormigones

CONTENIDO ORGÁNICO DEL AGREGADO FINO



MUESTRA DE ARENA	M2	M3	M4	M5
COLOR EN CARTA DE COLORES DE IMPUREZAS ORGÁNICAS (1 a 5)	3	2	1	1

NOTAS: Los colores observados en las soluciones de las muestras M2 a M5 no sobrepasaron el color estándar permitido (No. 3), por lo tanto el material es apto para usarse en morteros y hormigones.

3.2 Cálculo de dosificaciones a utilizar

En esta investigación se recorrieron dos caminos para llegar a un mismo fin: el diseño de un mortero cuyas características y propiedades otorguen a este una consistencia lo suficientemente fluida para su colocación en los paneles “hormi2” y que además presente una resistencia a la compresión entre 80 a 100 kg/cm².

Por lo tanto la primera investigación se realizará en el laboratorio de la PUCE con el apoyo del personal de Sika SA, y la segunda se llevará a cabo en las instalaciones de Tespecon con ayuda del personal de la misma empresa.

Se seleccionará de esta forma el mortero que presente las mejores condiciones requeridas para ser utilizado en la prueba de campo.

3.2.1 Dosificaciones efectuadas en el laboratorio de la PUCE.

Para la correcta elaboración de morteros, este ensayo se basó en la norma ASTM C305-14 la cual establece la mezcla mecánica de pastas de cemento y morteros de consistencia plástica, esta norma en nuestro equivale a la NTE INEN 155.

Para el diseño del mortero se tomaron en cuenta sugerencias existentes en la norma antes mencionada, así como también el conocimiento y la experiencia obtenida por parte del personal de Sika SA.

Los aspectos más relevantes que se consideró para las dosificaciones son:

- Características del agregado fino: granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como también el contenido de materia orgánica juegan un rol decisivo en la calidad del mortero.
- El agregado fino a utilizarse debe presentar un módulo de finura entre 2.5 y 2.8.

- El agregado fino debe estar libre de materia orgánica.
- El porcentaje de agregado fino que pasa el tamiz No. 200 debe ser mayor al 10%.
- Se utilizará un aditivo hiperplastificante Sika Viscocrete 1200, cuyas especificaciones y características se encuentran en el Anexo 1.
- Se usará cemento portland marca Holcim.

En primera instancia se realizaron cuatro dosificaciones diferentes, una con cada tipo de arena de las cuatro seleccionadas (M2 a M5). Las dosificaciones se realizaron inicialmente al peso para un volumen de 1.5 litros. El método utilizado fue el de ensayo y error hasta conseguir un mortero con una consistencia suficientemente fluida para poder verterse a través de los espacios entre las formaletas y los paneles de “hormi2”. La evaluación de la consistencia del mortero fue visual puesto que este debe ser muy fluido para el ensayo de campo. Debido a esto la mesa de flujo del laboratorio de cementos no se emplea para este tipo de mortero.

Se obtuvieron de esta forma las dosificaciones mostradas en la tabla 3.19.

Tabla 3.19

Dosificaciones elaboradas en la PUCE

Dosificación No.	Muestra arena	Arena (gr)	Cemento (gr)	Agua (gr)	Viscocrete 1200 (gr)	N° de muestras
1	M2	2445	375	615	2.25	9
2	M3	2470	375	500	2.25	9
3	M4	2540	375	500	2.25	9
4	M5	2465	375	500	2.25	9

Nota: la cantidad de aditivo utilizada fue 0.6% de la cantidad de cemento.

Se utilizaron estas dosificaciones para la elaboración de cubos de mortero de 50 mm de arista regidos a la norma ASTM C109M - 02, que en nuestra norma viene a ser la NTE INEN 488.

Se eligió así la dosificación que presentó la mejor resistencia a la compresión a los 28 días. Esta fue la dosificación No. 1, la cual estaba compuesta por la arena M2, los resultados de resistencia a la compresión se muestran en la sección 3.3.1 más adelante.

Con la arena M2 se realizaron tres dosificaciones adicionales (No. 5, 6 y 7), en estas se modificó ligeramente la relación agua-cemento para obtener resultados distintos y nuevamente seleccionar la dosificación que mejores resultados presente para el ensayo de campo.

Estas dosificaciones fueron realizadas al peso para un volumen de 1.5 litros de mortero. Se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3.20.

Tabla 3.20

Dosificaciones con arena M2

Dosificación No.	Arena (gr)	Cemento (gr)	Agua (gr)	Viscocrete 1200 (gr)	A/C	N° de muestras
5	2290	375	565	3	0.88	6
6	2225	405	580	2	0.86	6
7	2340	375	560	3	0.87	6

Nota: A/C= Relación agua-cemento.

La cantidad de aditivo utilizada para las dosificaciones No. 5 y 7 fueron al 0.08% de la cantidad de cemento, mientras que la cantidad de aditivo utilizada para la dosificación No. 6 fue al 0.06% de la cantidad de cemento. Ver el Anexo 2 para más información de las dosificaciones.

Se utilizaron estas dosificaciones para la elaboración de cubos de mortero de 50 mm de arista regidos a la norma ASTM C109 / C109M - 02, que en la norma ecuatoriana es la NTE INEN 488.

3.2.2 Dosificaciones efectuadas en los laboratorios de Tespecon.

El método utilizado fue el de ensayo y error hasta conseguir un mortero con una consistencia suficientemente fluida para poder ser vertido en los paneles “hormi2”. La evaluación de la consistencia fue visual puesto que el mortero buscado es muy fluido como para ser ensayado en la mesa de flujo.

Inicialmente se determinaron así cuatro dosificaciones de mortero con una consistencia fluida, el mortero que presente mayor resistencia a la compresión es el que será elegido para el ensayo de vertido en un panel “hormi2”.

Estas dosificaciones se realizaron simultáneamente a los ensayos de dosificación efectuados en el laboratorio de la PUCE. El aditivo hiperplastificante utilizado en estas dosificaciones fue el EPS 3001 U manufacturado por Tespecon SA, sus especificaciones técnicas se describen en el Anexo 3. Las dosificaciones ensayadas en el laboratorio de Tespecon se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21

Dosificaciones elaboradas en Tespecon

Dosificación	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (l)	Aditivo EPS 3001 U	
				% Aditivo	Cantidad (cm3)
1	7,2	1,0	1,1	2,22	14,78
2	6,9	1,0	2,0	2,25	15,00
3	6,3	1,0	2,0	2,25	15,00
4	6,3	1,0	1,5	1,52	10,12

Nota: Las dosificaciones fueron realizadas en relación al peso del cemento.

Con estas dosificaciones se elaborarán probetas con núcleo de poliestireno expandido, sus dimensiones totales son 40 x 20 x 10 cm. El 50% de estas probetas contarán con malla electro soldada y serán ensayadas para obtener la resistencia a la compresión del sistema. Es

importante señalar que estas son probetas prototipo para medir la resistencia a la compresión del sistema hormi2 y no deben ser vistas como bloques para mampostería.

3.3 Ensayos de compresión de morteros

3.3.1 Resistencia a la compresión de morteros realizados en el laboratorio de la PUCE.

Los ensayos de resistencia a la compresión que se llevaron a cabo en el Laboratorio de la PUCE se basan en las instrucciones descritas en la norma ASTM C109 / C109M – 02, que en nuestra norma es la NTE INEN 488 aplicada a los cementos hidráulicos empleados en la fabricación de morteros y hormigones.

Las edades adoptadas para ensayar las muestras de mortero fueron 7, 14 y 28 días, los resultados obtenidos se presentan en las tablas 3.22 a la 3.24.

Tabla 3.22

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 7 días

	1			2			3			4		
	M2			M3			M4			M5		
Dimensiones	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°3	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°3	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°3	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°3
Largo (cm)	5.10	5.10	5.10	5.00	5.10	5.10	5.15	5.12	5.15	5.00	5.00	5.00
Ancho (cm)	5.10	5.00	5.10	4.95	4.95	5.00	5.10	5.15	5.10	5.00	5.00	5.00
Altura (cm)	5.10	5.10	5.10	4.95	5.10	5.10	5.12	5.10	5.10	5.00	5.10	5.00
Masa (gr)	268.38	267.62	265.14	259.93	265.12	270.68	272.39	274.09	272.38	268.20	266.51	263.84
Área (cm ²)	26.01	25.50	26.01	24.75	25.25	25.50	26.27	26.37	26.27	25.00	25.00	25.00
Carga (kg)	1041.03	945.18	1021.04	1325.63	1246.20	1242.32	964.96	978.32	1000.14	1012.48	933.65	987.80
Peso Unitario (kg/m ³)	2023.20	2057.82	1998.78	2121.66	2059.19	2081.35	2025.55	2038.20	2033.42	2145.60	2090.27	2110.72
Resistencia (kg/cm ²)	40.02	37.07	39.26	53.56	49.36	48.72	36.74	37.10	38.08	40.50	37.35	39.51

Tabla 3.22

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 7 días (continuación)

	5		6		7	
	M2		M2		M2	
Dimensiones	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°1	Mortero N°2	Mortero N°1	Mortero N°2
Largo (cm)	5.10	5.07	5.03	5.02	5.01	5.01
Ancho (cm)	5.08	4.91	4.91	5.01	4.99	4.99
Altura (cm)	5.20	5.16	5.09	4.99	5.19	5.01
Masa (gr)	264.03	264.38	245.40	247.30	243.57	244.44
Área (cm ²)	25.91	24.89	24.70	25.15	25.00	25.00
Carga (kg)	1314.52	1257.51	1258.13	1288.92	1350.61	1378.15
Peso Unitario (kg/m ³)	1959.82	2058.21	1952.12	1970.53	1877.23	1951.63
Resistencia (kg/cm ²)	50.74	50.52	50.94	51.25	54.03	55.13

Tabla 3.23

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 14 días

	1			2			3			4		
	M2			M3			M4			M5		
Dimensiones	Mortero N°4	Mortero N°5	Mortero N°6	Mortero N°4	Mortero N°5	Mortero N°6	Mortero N°4	Mortero N°5	Mortero N°6	Mortero N°4	Mortero N°5	Mortero N°6
Largo (cm)	5.10	5.20	5.10	5.05	5.09	5.01	5.00	5.00	5.00	5.00	5.01	5.00
Ancho (cm)	5.15	5.05	5.00	4.95	5.05	5.00	5.05	5.01	5.03	5.10	5.05	5.02
Altura (cm)	5.20	5.10	5.22	5.08	5.05	5.05	5.09	5.08	5.05	5.10	5.06	5.06
Masa (gr)	265.19	263.88	262.05	260.45	267.95	270.96	258.14	255.29	253.96	265.11	266.55	267.29
Área (cm ²)	26.27	26.26	25.50	25.00	25.70	25.05	25.25	25.05	25.15	25.50	25.30	25.10
Carga (kg)	1476.04	1551.10	1517.85	1628.90	1725.77	1678.35	1379.17	1350.61	1393.34	1366.83	1403.84	1338.28
Peso Unitario (kg/m ³)	1941.67	1970.34	1968.67	2050.99	2064.21	2141.93	2008.52	2006.15	1999.57	2038.52	2082.09	2104.55
Resistencia (kg/cm ²)	56.20	59.07	59.52	65.16	67.14	67.00	54.62	53.92	55.40	53.60	55.49	53.32

Tabla 3.23

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 14 días (continuación)

	5		6		7	
	M2		M2		M2	
Dimensiones	Mortero N°3	Mortero N°4	Mortero N°3	Mortero N°4	Mortero N°3	Mortero N°4
Largo (cm)	5.02	5.16	5.04	5.02	4.95	4.95
Ancho (cm)	5.07	5.05	4.96	4.98	5.03	5.05
Altura (cm)	5.17	5.18	5.04	5.12	5.03	5.01
Masa (gr)	265.19	263.12	246.48	256.67	242.17	246.14
Área (cm ²)	25.45	26.06	25.00	25.00	24.90	25.00
Carga (kg)	1820.81	1833.14	1898.71	1884.44	1901.57	1921.45
Peso Unitario (kg/m ³)	2015.37	1949.32	1956.32	2005.27	1933.66	1965.39
Resistencia (kg/cm ²)	71.54	70.35	75.95	75.38	76.37	76.87

Tabla 3.24

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 28 días

	1			2			3			4		
	M2			M3			M4			M5		
Dimensiones	Mortero N°7	Mortero N°8	Mortero N°9	Mortero N°7	Mortero N°8	Mortero N°9	Mortero N°7	Mortero N°8	Mortero N°9	Mortero N°7	Mortero N°8	Mortero N°9
Largo (cm)	5.15	5.10	5.18	4.98	4.98	4.95	5.01	5.00	4.98	4.90	4.91	4.99
Ancho (cm)	5.06	5.15	5.09	5.05	5.00	5.09	5.10	5.02	5.01	5.00	5.01	5.00
Altura (cm)	5.20	5.05	5.15	5.00	5.18	5.05	5.05	5.01	5.05	5.05	5.01	5.00
Masa (gr)	262.86	265.23	268.14	265.36	269.70	270.00	256.67	256.67	255.18	260.59	264.88	263.46
Área (cm ²)	26.06	26.27	26.37	25.15	24.90	25.20	25.55	25.10	24.95	24.50	24.60	24.95
Carga (kg)	2065.84	2255.82	2235.83	2069.62	2030.62	1946.13	2031.68	2081.04	2053.51	1773.29	1805.61	1780.93
Peso Unitario (kg/m ³)	1939.83	1999.65	1974.73	2110.30	2090.99	2122.02	1989.19	2041.10	2025.29	2106.20	2149.28	2111.90
Resistencia (kg/cm ²)	79.28	85.89	84.80	82.29	81.55	77.24	79.52	82.91	82.31	72.38	73.40	71.38

Tabla 3.24

Resistencia a la compresión de morteros PUCE a los 28 días (continuación)

	5		6		7	
	M2		M2		M2	
Dimensiones	Mortero N°5	Mortero N°6	Mortero N°5	Mortero N°6	Mortero N°5	Mortero N°6
Largo (cm)	5.06	5.17	4.94	4.93	5.04	4.92
Ancho (cm)	5.08	5.07	5.20	5.15	4.96	4.98
Altura (cm)	5.15	5.14	5.03	5.03	5.02	4.95
Masa (gr)	261.92	265.59	256.54	252.68	246.76	243.48
Área (cm ²)	25.70	26.21	25.69	25.39	25.00	24.50
Carga (kg)	2593.34	2679.92	2794.74	2781.58	2845.52	2889.77
Peso Unitario (kg/m ³)	1978.55	1971.29	1985.44	1978.56	1966.34	2007.54
Resistencia (kg/cm ²)	100.89	102.24	108.80	109.56	113.83	117.94

La dosificación No. 7 presentó mayor resistencia a la compresión a los 28 días comparada a las dosificaciones 5 y 6, esta fue de 116 kg/cm² (ver tabla 3.24); y su consistencia fue lo suficientemente fluida para poder ser vertida sin problema en los paneles “hormi2”. De esta manera la dosificación No. 7 fue la seleccionada para el ensayo en la fábrica de Panecons SA en Latacunga.

3.3.2 Resistencia a la compresión de morteros elaborados en el laboratorio de Tespecon.

La sugerencia del personal técnico de Tespecon fue emplear la dosificación No. 4 en el ensayo preliminar de mortero vertido, este tiene una consistencia fluida adecuada para el ensayo y su posterior resistencia a la compresión cumplirá los parámetros de resistencia establecidos por Panecons SA (80 a 100 kg/cm²). Los resultados de resistencia a la compresión de la dosificación No. 4 se muestran en la tabla 3.25.

Tabla 3.25

Resistencia a la compresión de morteros Tespecon

Edad de ensayo (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
7	62
14	81
28	95

Nota: Fuente: A. Espinoza (comunicación personal, 2 de septiembre, 2015)

3.4 Prueba de vertido de Panel en los laboratorios de Tespecon

Se realizaron dos ensayos de vertido de mortero en un panel “hormi2”. El vertido del primer ensayo se efectuó manualmente, mientras que el segundo se llevó a cabo con maquinaria de bombeo de mortero.

3.4.1 Descripción de ensayo de vertido manual.

Utilizando la dosificación No. 4, se preparó un panel para el ensayo de laboratorio, sus dimensiones fueron de 1.50 x 1.00 x 0.15 m. El núcleo de poliestireno utilizado fue un panel simple Emmedue PST100, con espesor de 10 cm que permite alojar una capa de mortero de 2.5 cm de espesor a cada lado.

Los materiales utilizados para la construcción del encofrado de dicho panel fueron tableros de madera contrachapada de 5 mm y una plancha de acrílico transparente, la cual proporcionará visibilidad adecuada durante el vertido del mortero. Para el correcto arriostramiento del encofrado se utilizaron alfajías de eucalipto con una sección transversal de 4x4 cm, sujetadas entre sí por medio de tornillos y clavos. La primera fue colocada a 10 cm de la base y las siguientes con una separación de 60 cm.

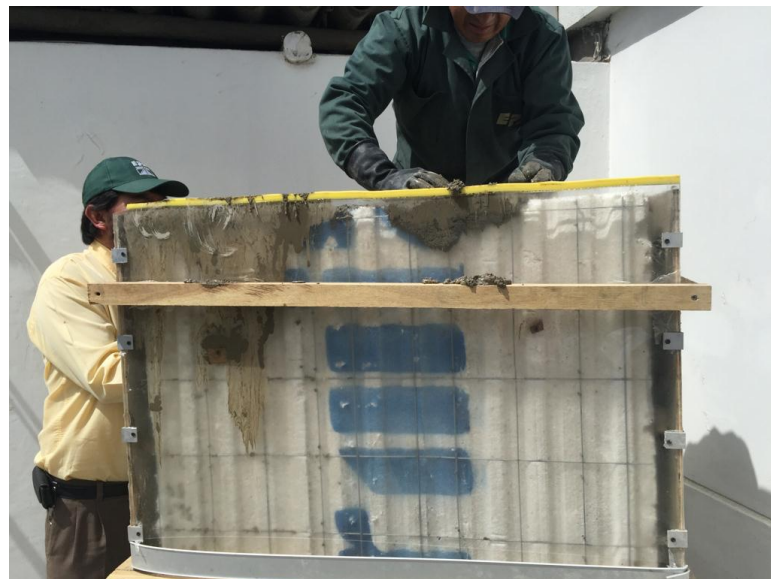
La plancha de acrílico fue sujeta mediante ángulos de aluminio, los cuales fueron atornillados a la madera contrachapada con un espaciamiento de 15 cm. Además se utilizó silicón para asegurar que no existan salidas de la lechada del mortero y así garantizar su hermeticidad.

Se colocaron pequeñas piezas de madera en los 3 lados del panel para garantizar la estabilidad y correcta posición del núcleo de poliestireno en el momento de verter el mortero.



Fotografía 1. Panel para ensayo en Tespecon.

El vertido del mortero se realizó manualmente. Para esto se utilizaron dos personas. El llenado del panel se llevó acabo aproximadamente en una hora.



Fotografía 2. Ensayo de vertido manual.

Para evitar burbujas de aire y un buen acomodamiento del mortero se simuló el vibrado mediante golpes continuos y distribuidos uniformemente en las cuatro caras del panel con un martillo de goma. Para un adecuado desencofrado se utilizó desmoldante antes de dar inicio al ensayo.



Fotografía 3. Eliminación de burbujas de aire.



Fotografía 4. Culminación de ensayo con vertido manual

3.4.2 Descripción del ensayo de vertido con maquinaria de bombeo.

Para esta prueba se reutilizó la estructura básica del panel usado en el ensayo de vertido manual, los materiales reciclados fueron los tableros de madera contrachapada y la plancha de acrílico.

Para el arriostramiento se emplearon alfajías de madera nuevas puesto que las anteriores se arruinaron por la presión que ejerció el mortero sobre el panel. Estas fueron sujetadas entre sí mediante tornillos y alambre entorchado. La plancha de acrílico y las pequeñas piezas de madera fueron colocados de igual forma que en el ensayo anterior. El núcleo de poliestireno utilizado es de las mismas dimensiones que en la prueba de vertido manual.

Del ensayo anterior pudimos observar que el fraguado del mortero era rápido en relación al tiempo que tomó su colocación, por esta razón se optó por añadir un aditivo retardante como medida de precaución a pesar de que el vertido esta vez sería con maquinaria. El aditivo usado fue EPS PREMIX VZ provisto por Tespecon SA. Las especificaciones del aditivo se encuentran en el Anexo 4.

La dosificación utilizada para esta prueba es la indicada en la tabla 3.26.

Tabla 3.26

Dosificación de mortero Tespecon

Dosificación	Arena	Cemento	Agua	Aditivo EPS 3001 U		Aditivo EPS PREMIX VZ	
	(kg)	(kg)	(l)	% Aditivo	Cantidad (cm ³)	% Aditivo	Cantidad (cm ³)
5	6,3	1,0	1,5	1,52	10,12	0,7	4,67

Nota: Fuente: A. Espinoza (comunicación personal, 15 de septiembre, 2015)

Para el vertido del mortero se utilizó la bomba Turbosol mini Avant G. Dos personas realizaron el vertido del mortero, el primer trabajador opera la máquina y coloca el mortero

en esta, mientras que el segundo se encarga del vertido en el panel. El ensayo de vertido del panel se finalizó en 20 minutos aproximadamente.



Fotografía 5. Preparación del mortero.



Fotografía 6. Colocación del mortero en la mini.

Al igual que en el ensayo anterior se imitó el vibrado del mortero mediante golpes continuos y distribuidos uniformemente en las caras del panel con un martillo de goma. Se aplicó desmoldante antes de iniciar el ensayo para un adecuado y fácil desencofrado.



Fotografía 7. Vertido del mortero.



Fotografía 8. Finalización del ensayo.

3.5 Ensayos de resistencia a la compresión en probetas

El laboratorio de Tespecon se encargó de ensayar a compresión las probetas realizadas con las cinco dosificaciones antes mencionadas. Las edades de ensayo de las probetas fueron seleccionadas por el personal técnico de Tespecon.



Fotografía 9. Probetas para ensayos de resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia a la compresión de las probetas elaboradas en el laboratorio de Tespecon, no existe norma alguna que establezca parámetros para este ensayo. Por lo que las probetas fueron ensayadas en la prensa en la cual se ensayan bloques de mampostería. Puesto que al buscar la resistencia a la compresión de estas probetas, lo que nos importa es que exista una fuerza vertical uniformemente distribuida sobre toda el área de contacto de la probeta.

Se pudo haber realizado probetas cilíndricas para determinar su resistencia a la compresión como las que se elabora para hormigón y para las cuales si existen normas vigentes. Sin embargo realizar una probeta cilíndrica que contenga en su interior un panel cilíndrico de poliestireno resulta muy complicado. Por esta razón se decidió trabajar con probetas prismáticas.

Los resultados de resistencia a la compresión en las probetas ensayadas en el laboratorio de Tespecon se muestran en la tabla 3.27.

Tabla 3.27

Resistencia a la compresión en probetas Tespecon

Dosificación No.	Edad (días)	Probeta No.	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	7	1	9.8
	33	1	27.2
		2	26.6
2	7	1	8.7
	33	1	25.0
		2	30.4
3	26	1	32.6
		2	26.1
	56	1	42.4
		2	35.9
4	50	1	65.2
		2	54.3
		3	69.6
		4	72.8
5	28	1	46.7
		2	40.2
		3	43.5
		4	41.3
		5	34.8
		6	55.4

Nota: Fuente: A. Espinoza (comunicación personal, 13 de octubre, 2015)

Capítulo IV: Trabajos de Campo

Con los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio se tomó la decisión de realizar una prueba de mayor magnitud en la fábrica de Panecons SA en la ciudad de Latacunga. Este ensayo simulará las condiciones reales que se presentan en obra, proporcionando más información acerca de aspectos que en laboratorio no se consideran.

Los ensayos realizados se llevaron a cabo con la ayuda del personal de Panecons SA, la maquinaria y otras herramientas de trabajo fueron provistas por la misma empresa.

4.1 Descripción de los trabajos a realizar para la construcción de una tabiquería en forma de “L”

Se decidió llevar a cabo este ensayo utilizando formaletas provistas por Plastigama, ya que mediante un acuerdo con la empresa Panecons SA se estableció trabajar conjuntamente para llevar a cabo esta investigación, puesto que los resultados obtenidos serán de mutuo beneficio.

4.1.1 Prueba de tabiquería con formaletas plásticas.

El ensayo consiste en la construcción de una tabiquería en forma de “L” cuyas dimensiones son $(2.5 + 1.2) \times 2.4 \times 0.10$ m. El núcleo de poliestireno que llevará en su interior es un panel simple Emmedue PST40 de 4 cm de espesor, cubierto por una capa de mortero de espesor 2.5 cm a cada lado, medido desde la malla de acero. Esta tabiquería será construida adyacente a una preexistente de igual espesor y altura.

El procedimiento para realizar el ensayo fue el siguiente:

4.1.1.1 Montaje de las planchas de poliestireno.

Esta tarea la llevó a cabo una cuadrilla conformada por cinco personas (cuatro peones y un maestro mayor). El transporte de las planchas hasta el sitio de trabajo se llevó a cabo por dos peones, mientras tanto los peones restantes se encargan del timbrado para señalar la posición exacta de las planchas de poliestireno. Los peones que se encargaron del transporte empiezan a chicotear la superficie del terreno del lado ya timbrado por los anteriores. Una vez finalizado el timbrado, los dos peones se encargan del montaje y amarre de paneles del lado ya chicoteado. Los peones que finalizaron la colocación de las varillas ahora se encargan de las mallas auxiliares en los paneles ya montados hasta terminar los dos lados de la “L”. Durante todo este proceso el maestro mayor solo cumple con supervisar la labor de sus trabajadores.

Para poder realizar el montaje de las planchas de poliestireno sobre la superficie del terreno se utilizaron varillas de acero corrugado $\phi 10$ mm. Estas varillas tienen una longitud total de 40 cm, con una longitud de anclaje de 7 cm; estas están dispuestas de forma alternada a cada lado del panel cada 10 cm. Los chicotes fueron amarrados a la malla de las planchas de poliestireno mediante alambre recocado No. 18; se utilizaron dos amarres por chicote.

Para un adecuado montaje de las planchas de poliestireno, es recomendable empezar en una esquina y continuar en los dos ejes perpendiculares para conseguir un conjunto estable.

Los paneles deben ser traslapados y amarrados entre si para lograr de esta manera un solo módulo. Para unir los paneles que forman la esquina se utilizaron mallas angulares de refuerzo tipo RG1, se colocaron cuatro unidades en la esquina: dos en el interior y dos en el

exterior. Las mallas RG1 se fijaron a la malla de la plancha mediante amarres con alambre de acero galvanizado.

Para el empalme de las planchas de poliestireno en el lado de mayor longitud de la tabiquería, se usaron mallas planas RG2, amarradas con alambre de acero galvanizado.

Se utilizó una malla perfilada tipo “U” en los vanos de las planchas que quedaron expuestas (parte superior y extremo libre de la tabiquería).



Fotografía 10. Montaje de planchas de poliestireno.

4.1.1.2 Armado del encofrado.

El encofrado de Plastigama está compuesto por paneles plásticos de distintas dimensiones. Estos se unen entre si mediante cuñas del mismo material. La modulación de este encofrado se muestra en las figuras 3 y 4.

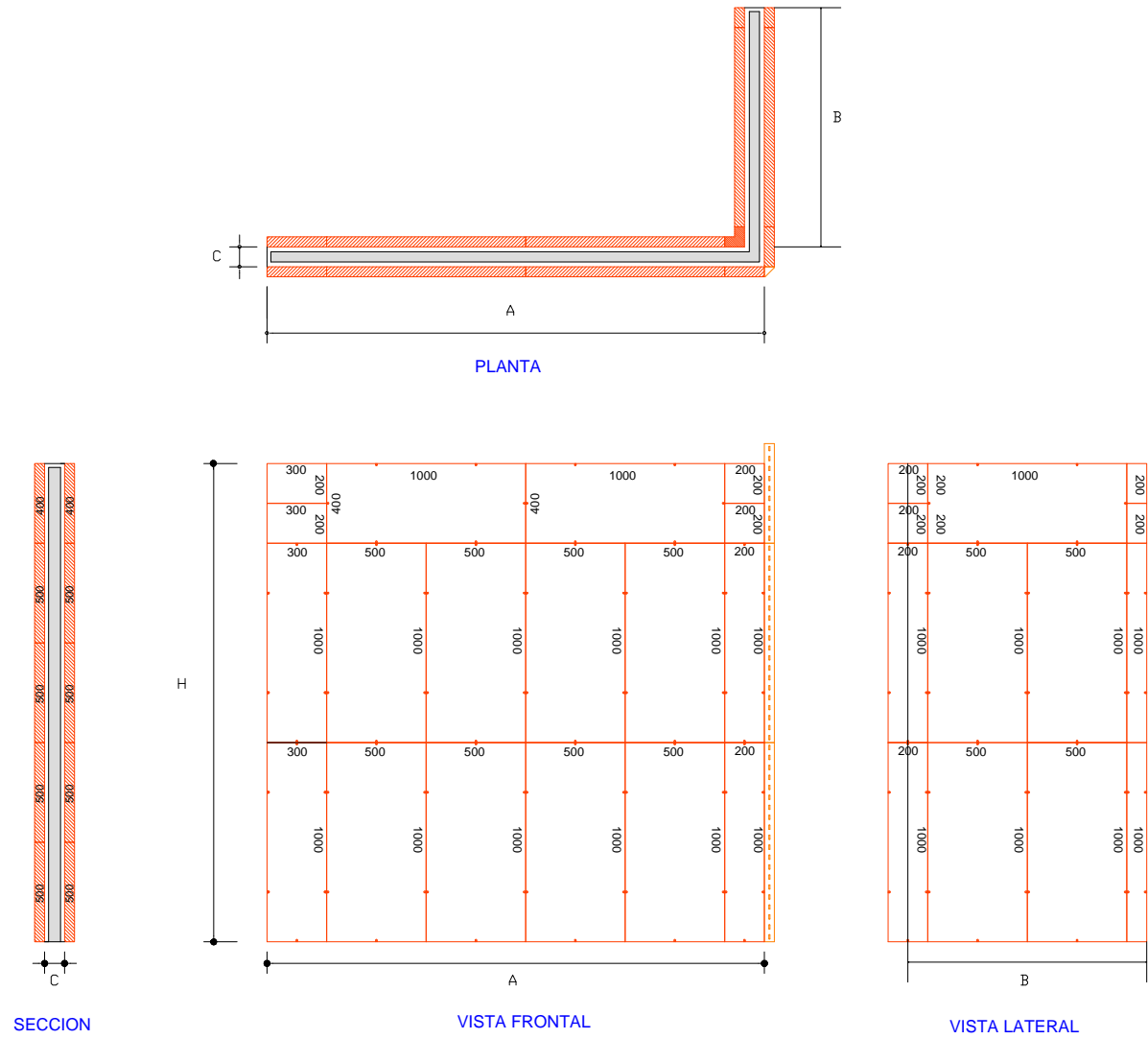


Figura 3. Modulación 1 de encofrado Plastigama.

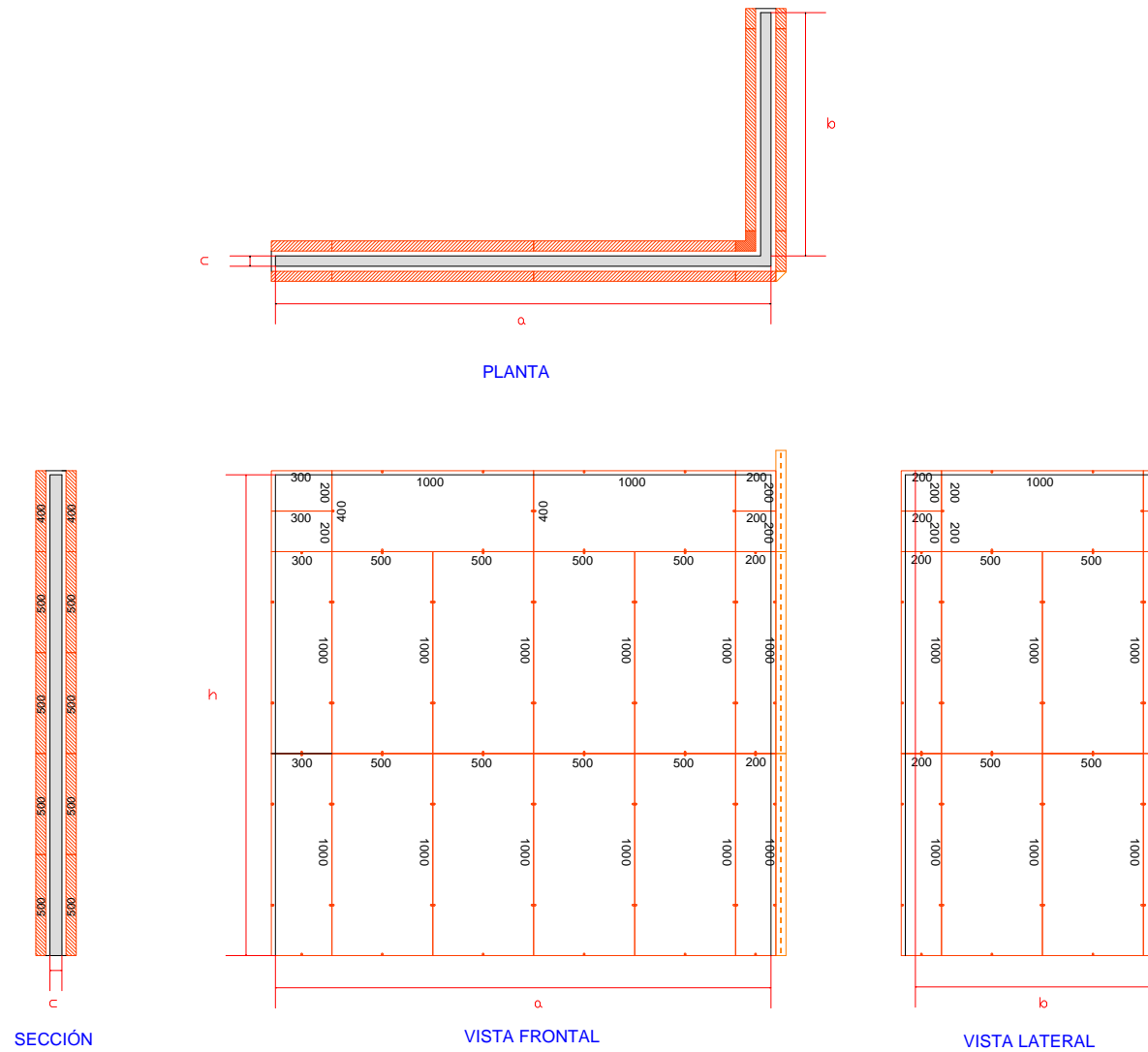


Figura 4. Modulaci3n 2 de encofrado Plastigama.

Este sistema de encofrado cuenta con un arriostramiento interno el cual consiste en pequeños orificios distribuidos uniformemente en la superficie del encofrado, estos se conocen como conectores circulares, por estos atraviesa alambre que sujeta las dos caras del encofrado. Sin embargo este procedimiento, no es práctico en obra por el tiempo que toma, por lo que con el asesoramiento del personal de Plastigama se tomó la decisión de omitir este paso y reforzar el arriostramiento y apuntalamiento externo.

Para el arriostramiento y apuntalamiento del encofrado se utilizaron puntales de 1,35 y 2.5 m, alfajías de eucalipto de sección transversal 5 x 5 cm y 2.40 m de altura. Se colocaron las alfajías vertical y horizontalmente, las verticales se dispusieron en la parte superior, inferior y central; mientras que las horizontales guardaron un espacio de 60cm entre si, aproximadamente.

La cuadrilla que llevó a cabo el armado del encofrado está conformada por cuatro personas (tres peones y un albañil). Los tres peones se encargan de llevar las piezas del encofrado al sitio del ensayo. Posteriormente los peones arman los pequeños paneles plásticos del encofrado, uniéndolos mediante cuñas. Un peón se encarga de sostener los paneles plásticos en posición vertical, mientras que los peones restantes colocan las alfajías y puntales, con la configuración ya descrita anteriormente. En este rubro, el albañil se encarga de supervisar el trabajo realizado por los peones.



Fotografía 11. Armado de las piezas de encofrado.



Fotografía 12. Montaje del encofrado.



Fotografía 13. Finalización de encofrado y apuntalamiento.

4.1.1.3 Preparación y vertido del mortero.

La dosificación utilizada es la No.7 descrita en la sección 3.3.1 de esta investigación. Se planteó llevar a cabo la preparación del mortero en dos paradas para facilitar la incorporación de los materiales a los trabajadores encargados de esta tarea. El cálculo de la cantidad de mortero a utilizar se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$A = 2.5 \text{ m}$$

$$a = 2.45 \text{ m}$$

$$B = 1.2 \text{ m}$$

$$b = 1.22 \text{ m}$$

$$C = 0.1 \text{ m}$$

$$c = 0.04 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$h = 2.48 \text{ m}$$

$$Volumen \text{ total del panel} = (A+B) \times C \times H \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$Volumen \text{ total del panel} = 0.925 \text{ m}^3$$

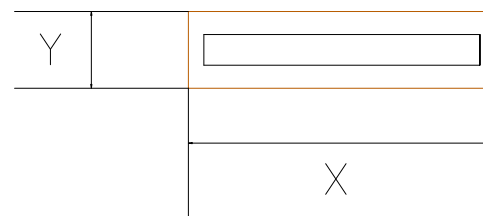
$$Volumen \text{ poliestireno} = (a+b) \times c \times h \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Volumen \text{ poliestireno} = 0.362 \text{ m}^3$$

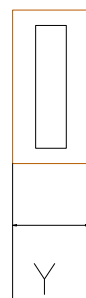
$$Volumen \text{ mortero } I = Volumen \text{ total del panel} - Volumen \text{ poliestireno} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Volumen \text{ mortero} = 0.563 \text{ m}^3$$

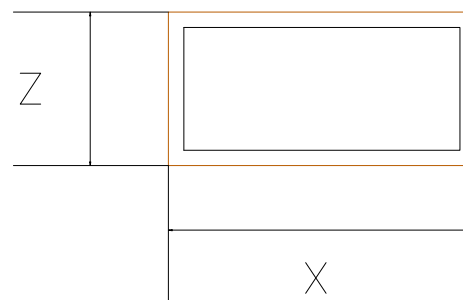
Para evaluar la resistencia a la compresión de este sistema, se tomarán seis probetas utilizando el mismo mortero, para ser ensayadas posteriormente. La geometría de las probetas se presenta en las figuras 5 y 6.



PLANTA



SECCIÓN



VISTA FRONTAL

Figura 5. Modulación 1 de probetas para ensayos de resistencia a la compresión.

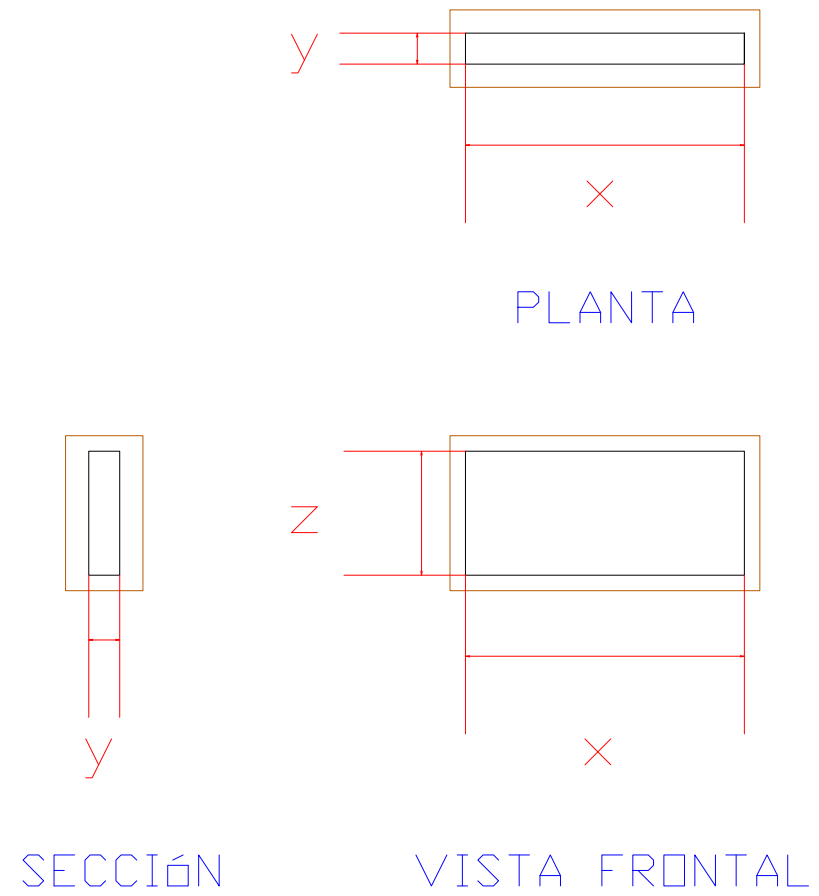


Figura 6. Modulación 2 de probetas para ensayos de resistencia a la compresión.

$$X = 0.4 \text{ m}$$

$$x = 0.35 \text{ m}$$

$$Y = 0.1 \text{ m}$$

$$y = 0.04 \text{ m}$$

$$Z = 0.2 \text{ m}$$

$$z = 0.16 \text{ m}$$

$$Volumen probeta = X \times Y \times Z \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Volumen probeta = 0.008 \text{ m}^3$$

$$Volumen poliestireno = x \times y \times z \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$Volumen poliestireno = 0.0023 \text{ m}^3$$

$$Volumen mortero 2 = Volumen probeta - Volumen poliestireno \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$Volumen mortero2 = 0.0057 \text{ m}^3$$

$$Volumen mortero2 \text{ para 6 probetas} = 0.03 \text{ m}^3$$

$$Volumen total mortero = Volumen mortero1 + Volumen mortero2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$Volumen total mortero = 0.593 \text{ m}^3$$

Asumiendo un porcentaje de desperdicio del 5%, la nueva cantidad de mortero necesaria para el ensayo será:

$$Volumen total mortero = 0.623 \text{ m}^3$$

Las cantidades de materiales necesarios para 1 m³ de mortero utilizando la dosificación No. 7 se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

Cantidades para 1m³ de mortero PUCE

Material	Cantidad (kg)
Cemento	250.0
Arena	1,560.0
Agua	373.3
Aditivo	2.0

Los pesos unitarios de arena, cemento y agua se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Peso unitario de materiales para mortero

Material	Peso Unitario (kg/m ³)
Cemento	1,500.0
Arena	1,417.8
Agua	1,000.0

La tabla 4.3 muestra las cantidades necesarias de materiales para elaborar 0.623 m³ de mortero. Para evitar el desperdicio del aditivo y facilitar su medición, la cantidad necesaria se pesó en una balanza previo al ensayo.

Tabla 4.3

Cantidades para 0.623m³ de mortero PUCE

Material	kg	m ³
Cemento	155.00	0.103
Arena	967.20	0.680
Agua	231.45	0.231
Aditivo	1.24	

Nota: La relación cemento-arena es aproximadamente 1:6 y la relación agua-cemento real es 0.87.

Para la dosificación del mortero de este ensayo, se usó una parihuela de 0.35m de lado para el cemento y la arena; el agua se midió en litros y el aditivo al peso. Las cantidades de materiales por parada se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4

Cantidades de materiales por parada

Material	Cantidad
Cemento (m ³)	0.052
Arena (m ³)	0.340
Agua (m ³)	0.116
Aditivo (kg)	1.240

Teniendo en cuenta que el volumen de la parihuela es 0.043m³, la dosificación al volumen de los materiales es como lo indica la tabla 4.5.

Tabla 4.5

Dosificación por parada de mortero

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	parihuela	1.20
Arena	parihuela	7.90
Agua	L	116.00
Aditivo	kg	0.62

Para la dosificación y el vertido del mortero en el panel en forma de “L”, se utilizó una cuadrilla conformada por cinco personas (tres peones, un albañil y un maestro mayor). Para el vertido del mortero se utilizó una bomba Turbosol Mini Avant G, mientras que el vibrado del panel se simuló a través de un montacargas. La distribución del personal fue de la siguiente manera:

La incorporación de los materiales estuvo a cargo de dos peones y un albañil, las cantidades de materiales a mezclar fueron indicadas por el maestro mayor. Simultáneamente

el tercer peón se encarga de la preparación de la máquina. Una vez lista la dosificación, el tercer peón carga el mortero en la bandeja de la máquina y el albañil se encarga de verter el mortero dentro del encofrado. Una vez iniciado el vertido, un peón permanece mezclando constantemente el mortero para que este mantenga su consistencia, mientras tanto el segundo peón se encarga del vibrado del panel con ayuda del montacargas.



Fotografía 14. Vertido del mortero con mini.

Luego de cinco minutos de verter el mortero en el interior del panel; se observó que el encofrado empezó a fallar en el lado de menor dimensión de la tabiquería, por lo que se detuvo el vertido inmediatamente. La falla se produjo sobre los paneles de Plastigama en la parte inferior del encofrado donde la presión era muy grande. Las piezas de plástico se pandearon excesivamente produciendo un sobreesfuerzo en las alfajías de madera, las cuales desplazaron los soportes inferiores causando la separación de las piezas del encofrado por donde hubo salida de mortero.



Fotografía 15. Falla en el encofrado de Plastigama.

Al no tener éxito en esta prueba, se tomó la decisión de cambiar el encofrado por uno metálico, para esta prueba se trabajó con la empresa Renteco S.A.

4.1.2 Prueba de tabiquería con formaletas metálicas.

Para llevar a cabo esta prueba, el transporte de los elementos metálicos del encofrado debía realizarse en una plataforma desde la ciudad de Quito hasta la fábrica de Panecons SA en Latacunga. Para evitar gastos innecesarios, Panecons SA decidió cambiar la configuración de la tabiquería y disminuir sus dimensiones; de esta manera el transporte de los elementos podría realizarse utilizando una de las camionetas de la empresa. La nueva tabiquería tiene un espesor de 0.1 m y un ancho y alto de 2.4 m.

4.1.2.1 Montaje de las planchas de poliestireno.

El montaje, anclaje y amarre de las planchas de poliestireno se realizó de la misma manera que en la prueba anterior. La diferencia es que no se utilizaron las mallas tipo RG1

debido a que la tabiquería ya no es en forma de “L”. La cuadrilla considerada para esta tarea y la distribución de actividades entre los trabajadores, es igual a la de la prueba anterior.

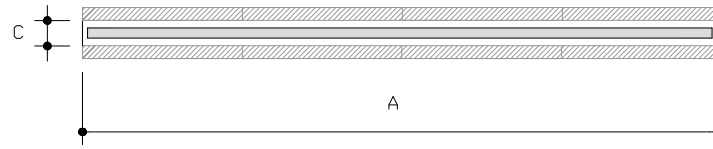


Fotografía 16. Montaje de planchas de poliestireno.

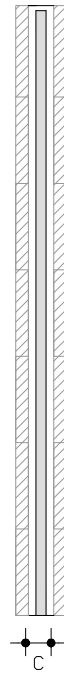
4.1.2.2 Armado del encofrado.

Renteco utiliza el sistema Steel – Ply de Symons. Este sistema está conformado por un fuerte armazón de acero y madera multilaminada. Estas planchas se unen por medio del acoplamiento de cuñas, cuyo procedimiento no necesita personal ni herramientas especializadas. Este encofrado cuenta con un sistema de arriostramiento interno, el que consiste en pequeñas placas metálicas que sujetan las planchas paralelas del encofrado; estas se colocan en toda la longitud de unión entre dos planchas con una separación de 30cm.

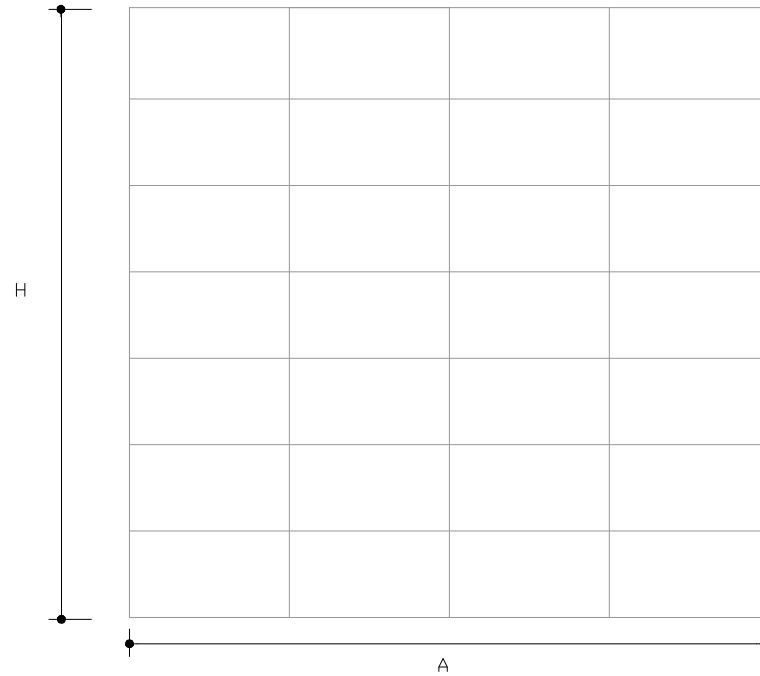
Este sistema de encofrado demanda menos apuntalamiento en relación al encofrado de Plastigama debido a sus características. Su modulación se muestra en las figuras 7 y 8.



PLANTA

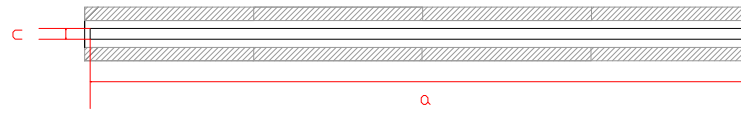


SECCIÓN

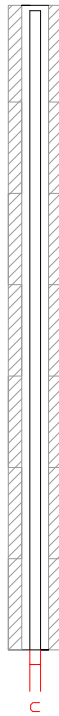


VISTA FRONTAL

Figura 7. Modulaci3n 1 de encofrado Renteco.



PLANTA



SECCIÓN



VISTA FRONTAL

Figura 8. Modulaci3n 2 de encofrado Renteco.

La aplicación de un desmoldante facilita el proceso de desencofrado del sistema por lo que se recomienda su uso. La cuadrilla encargada de armar el encofrado estuvo conformada por cinco personas (tres peones, un albañil y un maestro mayor). La distribución de actividades es la siguiente:

Se colocan las piezas metálicas de encofrado en posición vertical, tres peones y un albañil se encargan de unir las piezas entre sí mediante cuñas. Una vez armadas las piezas, se las coloca rodeando el poliestireno. Luego se procede a colocar las placas para arriostramiento interno en la unión de cada placa metálica, esta tarea la realiza el albañil. Se colocan tres alfajías en sentido horizontal en cada cara del encofrado, estas se aseguran en su sitio mediante piezas metálicas propias del encofrado Steel – Ply, adicionalmente se colocan puntales para una mejor fijación del sistema, los encargados de esta tarea fueron tres peones y un albañil.



Fotografía 17. Armado de encofrado metálico.

4.1.2.3 Preparación y vertido del mortero.

Igual que en la prueba anterior la dosificación utilizada es la No. 7 (detallada en la sección 3.3.1 de esta investigación) y la preparación del mortero se llevó a cabo en dos paradas. El calculo de la cantidad de mortero a utilizar se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$A = 2.5 \text{ m}$$

$$a = 2.46 \text{ m}$$

$$C = 0.1 \text{ m}$$

$$c = 0.04 \text{ m}$$

$$H = 2.4 \text{ m}$$

$$h = 2.38 \text{ m}$$

$$Volumen \text{ total del panel} = A \times C \times H \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$Volumen \text{ total del panel} = 0.6 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ poliestireno} = a \times c \times h \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$Volumen \text{ poliestireno} = 0.236 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ mortero } I = Volumen \text{ total del panel} - Volumen \text{ poliestireno} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Volumen \text{ mortero} = 0.364 \text{ m}^3$$

Para evaluar la resistencia a la compresión de este sistema, se tomaron seis probetas utilizando el mismo mortero que para el panel, la geometría de estas probetas se muestra en las figuras 5 y 6.

$$Volumen\ probeta = X \times Y \times Z \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Volumen\ probeta = 0.008\ m^3$$

$$Volumen\ poliestireno = x \times y \times z \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$Volumen\ poliestireno = 0.0023\ m^3$$

$$Volumen\ mortero\ 2 = Volumen\ probeta - Volumen\ poliestireno \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$Volumen\ mortero2 = 0.0057\ m^3$$

$$Volumen\ mortero2\ para\ 6\ probetas = 0.03\ m^3$$

$$Volumen\ total\ mortero = Volumen\ mortero1 + Volumen\ mortero2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$Volumen\ total\ mortero = 0.394\ m^3$$

Asumiendo un porcentaje de desperdicio del 5%, la nueva cantidad de mortero necesaria para el ensayo será:

$$Volumen\ total\ mortero = 0.414\ m^3$$

Las cantidades de materiales para $1\ m^3$ de mortero utilizando la dosificación No. 7 se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6

Cantidades para 1m³ de mortero PUCE

Material	Cantidad
Cemento (kg)	250.0
Arena (kg)	1,560.0
Agua (kg)	373.3
Aditivo (kg)	2.0

Los pesos unitarios de arena, cemento y agua se muestran en la tabla 4.7.

Tabla 4.7

Peso unitario de materiales para mortero

Material	Peso Unitario (kg/m ³)
Cemento	1,500.0
Arena	1,417.8
Agua	1,000.0

La tabla 4.8 muestra las cantidades de materiales para elaborar 0.414 m³ de mortero. Para evitar el desperdicio del aditivo y facilitar su medición, la cantidad necesaria se pesó en una balanza previo al ensayo

Tabla 4.8

Cantidades para 0.414m³ de mortero PUCE

Material	kg	m ³
Cemento	103.50	0.07
Arena	645.84	0.46
Agua	154.55	0.15
Aditivo	0.83	

Nota: La relación cemento-arena es aproximadamente 1:6 y la relación agua-cemento real es 0.87.

Para la dosificación del mortero de este ensayo, se usó una parihuela de 0.35m de lado para el cemento y la arena; el agua se midió en litros y el aditivo al peso. Las cantidades de los materiales por parada se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9

Cantidades de materiales por parada

Material	Cantidad
Cemento (m ³)	0.035
Arena (m ³)	0.230
Agua (m ³)	0.770
Aditivo (kg)	0.410

Teniendo en cuenta que el volumen de la parihuela es 0.043 m³, la dosificación al volumen de los materiales es como lo indica la tabla 4.10.

Tabla 4.10

Dosificación por parada de mortero

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	parihuela	0.82
Arena	parihuela	5.35
Agua	L	77.00
Aditivo	kg	0.41

Al igual que en la prueba anterior, para la dosificación y el vertido del mortero se utilizó una cuadrilla conformada por cinco personas (tres peones, un albañil y un maestro mayor). Para el vertido del mortero se utilizó una bomba Turbosol Mini Avant G, mientras que el vibrado del panel se simuló a través de un montacargas. La distribución del personal fue de la siguiente manera:

La incorporación de los materiales estuvo a cargo de dos peones y un albañil, las cantidades de materiales a mezclar fueron indicadas por el maestro mayor. Simultáneamente

el tercer peón se encarga de la preparación de la máquina. Una vez lista la dosificación, el tercer peón carga el mortero en la bandeja de la máquina y el albañil se encarga de verter el mortero dentro del encofrado. Una vez iniciado el vertido, un peón permanece mezclando constantemente el mortero para que este mantenga su consistencia, mientras tanto el segundo peón se encarga del vibrado del panel con ayuda del montacargas. El ensayo finalizó sin presencia de fugas excesivas de mortero ni desplazamiento de las unidades de encofrado.



Fotografía 18. Preparación del mortero.



Fotografía 19. Vertido del mortero.



Fotografía 20. Finalización de vertido de mortero.

4.1.2.4 Desencofrado del sistema.

El desencofrado se llevó a cabo al día siguiente de la fundición, esta tarea fue realizada por dos peones y un albañil en aproximadamente 40 minutos.



Fotografía 21. Desencofrado del sistema.

4.2 Medición de parámetros considerados

Los parámetros considerados para medición, fueron los de mayor importancia para esta investigación, siendo estos: cuadrilla tipo, materiales, rendimientos, precios unitarios, tiempos productivos, contributivos, no contributivos y resistencia a la compresión del sistema. Estos parámetros fueron medidos en cada rubro. Los datos recogidos para este análisis son los de la prueba con encofrado metálico, ya que con el encofrado plástico no hubo éxito.

4.2.1 Cuadrilla tipo.

Los trabajadores que participaron para la ejecución de todos los rubros fueron: peón, albañil y maestro mayor. La Contraloría General del Estado clasifica a estos trabajadores por categorías ocupacionales, las correspondientes a los de la construcción son:

- Categoría E2: Peón.
- Categoría D2: Albañil.
- Categoría C1: Maestro Mayor.

Los rubros sometidos a análisis se indican a continuación:

4.2.1.1 *Timbrado de la superficie.*

Se utilizó una cuadrilla de un peón, un albañil y un maestro mayor. Para la ejecución del rubro el maestro mayor aportó únicamente con instrucciones al peón y albañil, resultando en la siguiente cuadrilla tipo:

$$1E2 + 1D2 + 0.1C1$$

4.2.1.2 *Chicoteado de la superficie.*

La cuadrilla utilizada es la misma que la del rubro anterior:

$$1E2 + 1D2 + 0.1C1$$

4.2.1.3 Montaje de paneles “hormi2”.

En la cuadrilla utilizada intervienen cuatro peones y un maestro mayor, el maestro mayor se limita únicamente a dar instrucciones de trabajo a los peones. La cuadrilla tipo es:

$$4E2 + 0.1C1$$

4.2.1.4 Encofrado y apuntalamiento.

Para llevar a cabo el encofrado se trabajó con tres peones, un albañil y un maestro mayor. Al igual que en los otros rubros, el maestro mayor aporta con indicaciones para la ejecución de un buen trabajo. La cuadrilla tipo es:

$$3E2 + 1D2 + 0.1C1$$

4.2.1.5 Preparación del mortero.

La cuadrilla es la misma que para el armado del encofrado:

$$3E2 + 1D2 + 0.1C1$$

4.2.1.6 Vertido del mortero.

La cuadrilla tipo está conformada por dos peones, un albañil y un maestro mayor:

$$2E2 + 1D2 + 0.1C1$$

4.2.1.7 Desencofrado del sistema.

El trabajo se llevó a cabo por dos peones que contaron con la ayuda y supervisión de un albañil.

$$2E2 + 0.5D2$$

4.2.2 Materiales.

A continuación se analiza el uso de materiales y sus cantidades para la construcción de la tabiquería de ensayo, estos se detallan en la tabla 4.11 para los rubros que precisan de materiales de construcción.

Tabla 4.11

Cantidades de materiales para construcción de una tabiquería

Rubro	Materiales	Unidad	Cantidad
Chicoteado de la superficie	Acero de Refuerzo FY=4200Kg/cm ² ø10mm L=40cm	kg	5.42
Montaje de paneles “hormi2”	Panel Simple PST40	m ²	6
	Malla RG2	u	4
	Malla perfilada tipo "U"	u	4
	Alambre recocido #18	kg	1
Encofrado y apuntalamiento	Encofrado metálico Steel Ply	m ²	12
	Cuñas para encofrado	u	48
	Desmoldante	l	2
	Alfajía de eucalipto 0.05x0.05x2.4m	u	6
	Puntales de eucalipto L=2.4m	u	6
	Clavos de acero	kg	1
Preparación del mortero	Arena	m ³	0.46
	Cemento	kg	103.5
	Agua	m ³	0.15
	Aditivo	kg	0.83

4.2.3 Rendimientos.

Los rendimientos se midieron durante la realización del ensayo en Latacunga, con estos datos se calculan las horas hombre para el posterior análisis de precios unitarios. La tabla 4.12 muestra los rendimientos para cada rubro. La fórmula utilizada para el cálculo de las horas hombre (hh) es:

$$hh = \frac{a \times b}{c} \quad (\text{Ecuación 8})$$

De donde:

a: Número de individuos que realizan el trabajo

b: Tiempo en horas en que se realiza el trabajo

c: Cantidad ejecutada

Tabla 4.12

Rendimiento de cada rubro

Rubro	Cuadrilla	Actividades	Rendimiento
Timbrado de la superficie	1E2 + 1D2 + 0.1C1	Se timbra una longitud de 4,8m en 11min (0.18h)	26.67m/h
Chicoteado de la superficie	1E2 + 1D2 + 0.1C1	Se chicotea una longitud de 4,8m en 15min (0.25h)	19.2m/h
Montaje de paneles “hormi2”	4E2 + 0.1C1	El montaje de los paneles de poliestireno para un área de 6m ² tomó 24min (0.4h)	15m ² /h
Encofrado y apuntalamiento	3E2 + 1D2 + 0.1C1	Se armó el encofrado metálico y se apuntaló en 80min (1.33h) un área de 12.25 m ²	9.21m ² /h
Preparación del mortero	3E2 + 1D2 + 0.1C1	Se preparó 0.414m ³ de mortero en 40min (0.67h)	0.62m ³ /h
Vertido del mortero	2E2 + 1D2 + 0.1C1	Se vertió 12.25m ² de mortero en 20min (0.33h)	37.12m ² /h
Desencofrado del sistema	2E2 + 0.5D2	Se desencofró 12.25m ² de encofrado en 40min (0.67h)	18.28m ² /h

El cálculo de horas hombre se muestra en la tabla 4.13 para cada rubro del sistema “hormi2” con mortero vertido.

Tabla 4.13

Horas hombre para cada rubro

Rubro	Categoría trabajador	a	b	c	Horas hombre
Timbrado de la superficie (m)	E2	1.0	0.18	4.8	0.038
	D2	1.0	0.18	4.8	0.038
	C1	0.1	0.18	4.8	0.004
Chicoteado de la superficie (m)	E2	1.0	0.25	4.8	0.052
	D2	1.0	0.25	4.8	0.052
	C1	0.1	0.25	4.8	0.005
Montaje de paneles “hormi2” (m ²)	E2	4.0	0.40	6.0	0.280
	C1	0.1	0.40	6.0	0.007
Encofrado y apuntalamiento (m ²)	E2	3.0	1.33	12.25	0.330
	D2	1.0	1.33	12.25	0.110
	C1	0.1	1.33	12.25	0.011
Preparación del mortero (m ³)	E2	3.0	0.67	0.414	4.860
	D2	1.0	0.67	0.414	1.620
	C1	0.1	0.67	0.414	0.160
Vertido del mortero (m ²)	E2	2.0	0.33	12.25	0.054
	D2	1.0	0.33	12.25	0.027
	C1	0.1	0.33	12.25	0.003
Desencofrado del sistema (m ²)	E2	2	0.67	12.25	0.11
	C1	0.5	0.67	12.25	0.027

Nota: El rubro de preparación del mortero incluye aditivo superplastificante y no incluye concretera.

4.2.4 Análisis de precios unitarios.

Para el análisis de precios unitarios se utilizó la información descrita en las secciones 4.2.1 a 4.2.3, esta información se obtuvo de los ensayos realizados en campo.

Tabla 4.14

Análisis de precios unitarios: timbrado de la superficie

RUBRO:	TIMBRADO DE LA SUPERFICIE	UNIDAD:	m
--------	---------------------------	---------	---

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
			TOTAL	

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.038	0.12
Categoría D2	1.00	3.30	0.038	0.13
Categoría C1	0.10	3.66	0.004	0.01
			TOTAL	0.26

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.07	0.038	0.000
			TOTAL	0.000

COSTO DIRECTO	0.26
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.05
SUBTOTAL	0.32
IVA 12%	0.04
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	0.36

Tabla 4.15

Análisis de precios unitarios: chicoteado de la superficie

RUBRO:	CHICOTEADO DE LA SUPERFICIE	UNIDAD:	m
--------	-----------------------------	---------	---

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Acero de refuerzo FY=4200Kg/cm2 ø10mm L=40cm	kg	1.13	1.30	1.469
			TOTAL	1.469

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.052	0.17
Categoría D2	1.00	3.30	0.052	0.17
Categoría C1	0.10	3.66	0.005	0.02
			TOTAL	0.36

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.011	0.052	0.001
			TOTAL	0.001

COSTO DIRECTO	1.83
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.37
SUBTOTAL	2.19
IVA 12%	0.26
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	2.46

Tabla 4.16

Análisis de precios unitarios: montaje de paneles “hormi2”

RUBRO:	MONTAJE DE PANELES “HORMI2”	UNIDAD:	m ²
--------	-----------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Panel Simple PST40 (espesor terminado = 10cm)	m ²	1.00	10.44	10.44
Malla RG2	u	0.67	1.19	0.797
Malla perfilada tipo "U"	u	0.67	1.54	1.0318
Alambre recocido No. 18	kg	0.17	2.3	0.391
			TOTAL	12.660

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	4.00	3.26	0.280	0.91
Categoría C1	0.10	3.66	0.007	0.03
			TOTAL	0.94

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.028	0.07	0.002
			TOTAL	0.002

COSTO DIRECTO	13.60
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	2.72
SUBTOTAL	16.32
IVA 12%	1.96
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	18.28

Tabla 4.17

Análisis de precios unitarios: encofrado y apuntalamiento

RUBRO:	ENCOFRADO Y APUNTALAMIENTO	UNIDAD:	m ²
--------	----------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Encofrado Metálico Steel Ply	m ²	1.00	11.49	11.49
Cuñas para encofrado	u	3.92	1.14	4.47
Desmoldante	l	2	0.27	0.54
Alfajía de eucalipto 0.05x0.05x2.4m	u	0.50	3	1.5
Puntales de eucalipto L=2.4m	u	0.50	1.5	0.75
Clavos de acero	kg	0.05	2.02	0.101
			TOTAL	18.85

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	3.00	3.26	0.330	1.08
Categoría D2	1.00	3.3	0.110	0.36
Categoría C1	0.10	3.66	0.011	0.04
			TOTAL	1.48

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.044	0.110	0.005
			TOTAL	0.005

COSTO DIRECTO	20.33
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	4.07
SUBTOTAL	24.40
IVA 12%	2.93
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	27.33

Tabla 4.18

Análisis de precios unitarios: preparación del mortero

RUBRO:	PREPARACIÓN DEL MORTERO	UNIDAD:	m ³
--------	-------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Arena	m ³	1.04	6.7	6.968
Cemento	kg	250	0.18	45.00
Agua	m ³	0.37	0.78	0.289
Aditivo	kg	2.00	6.28	12.56
			TOTAL	64.817

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	3.00	3.26	4.86	15.84
Categoría D2	1.00	3.30	1.62	5.35
Categoría C1	0.10	3.66	0.16	0.59
			TOTAL	21.78

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	2.00	0.653	3.24	2.12
			TOTAL	2.12

COSTO DIRECTO	88.71
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	17.74
SUBTOTAL	106.45
IVA 12%	12.77
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	119.22

Tabla 4.19

Análisis de precios unitarios: vertido del mortero

RUBRO:	VERTIDO DEL MORTERO	UNIDAD:	m ²
--------	---------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
			TOTAL	

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	2.00	3.26	0.054	0.18
Categoría D2	1.00	3.30	0.027	0.09
Categoría C1	0.10	3.66	0.003	0.01
			TOTAL	0.28

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.008	0.027	0.00
Bomba Turbosol mini Avant G	1.00	15.00	0.027	0.40
			TOTAL	0.40

COSTO DIRECTO	0.68
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.14
SUBTOTAL	0.82
IVA 12%	0.10
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	0.92

Tabla 4.20

Análisis de precios unitarios: desencofrado del sistema

RUBRO:	DESENCOFRADO DEL SISTEMA	UNIDAD:	m ²
--------	--------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
			TOTAL	

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	2.00	3.26	0.110	0.36
Categoría D2	0.50	3.30	0.027	0.09
			TOTAL	0.45

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.013	0.054	0.001
			TOTAL	0.001

COSTO DIRECTO	0.45
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.09
SUBTOTAL	0.54
IVA 12%	0.06
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	0.60

4.2.5 Tiempos productivos, contributorios y no contributorios.

El adecuado aprovechamiento de los recursos necesarios para producir un fin, es la clave para alcanzar una buena productividad. El minucioso estudio de toda actividad nos permite desglosar a esta en tres tipos de trabajos existentes y correlacionados, por medio de los cuales se lleva a cabo dicha actividad. Estos son: trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio.

4.2.5.1 Trabajo productivo.

Son todas aquellas actividades que agregan valor a un rubro, por ejemplo: colocación de bloques, refuerzos, moldajes, mortero, etc.

4.2.5.2 Trabajo contributorio.

Son las actividades que aparentemente son necesarias pero no agregan valor al rubro ejecutado, por ejemplo: instrucciones de trabajo, transporte de materiales, mediciones, etc.

4.2.5.3 Trabajo no contributorio.

Son aquellas que no tienen ningún tipo de aporte, ya sea directa o indirectamente al rubro.

A continuación las tablas 4.21 a la 4.27 describen los tiempos mencionados anteriormente analizados en cada rubro.

Tabla 4.21

Tiempos para timbrado de la superficie

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		10	1	11
1	D2: Carlos		8	3	11
1	C1: Víctor		2		2

Tabla 4.22

Tiempos para chicoteado de la superficie

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan	12	1	2	15
1	D2: Carlos	10	3	2	15
1	C1: Víctor		3		3

Tabla 4.23

Tiempos para montaje de paneles “hormi2”

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan	20	2	2	24
2	E2: Manuel	20	2	2	24
3	E2: Pedro	21	3		24
4	E2: Daniel	21	3		24
1	C1: Víctor		4		4

Tabla 4.24

Tiempos para encofrado y apuntalamiento

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan	45	25	10	80
2	E2: Manuel	43	25	12	80
3	E2: Pedro	45	28	7	80
1	D2: Carlos	40	35	5	80
1	C1: Víctor		10		10

Tabla 4.25

Tiempos para preparación del mortero

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		32	8	40
2	E2: Manuel		32	8	40
3	E2: Pedro		35	5	40
1	D2: Carlos		30	10	40
1	C1: Víctor		8		8

Tabla 4.26

Tiempos para vertido del mortero

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		14	6	20
2	E2: Manuel		16	4	20
1	D2: Carlos	20			20
1	C1: Víctor		6		6

Tabla 4.27

Tiempos para desencofrado del sistema

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		35	5	40
2	E2: Manuel		33	7	40
1	D2: Carlos		20		20

4.2.6 Resistencia a la compresión del sistema.

Para ensayar en laboratorio la resistencia a compresión del sistema, se elaboraron probetas de iguales características que las empleadas en los ensayos en Tespecon, cuyas dimensiones fueron 40 x 20 x 10 cm. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.28.

Tabla 4.28

Resistencia a la compresión de probetas PUCE

	7 días		14 días		28 días	
	Con malla	Sin malla	Con malla	Sin malla	Con malla	Sin malla
Largo (cm)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Ancho (cm)	10.03	9.77	10.08	10.07	10.07	10.09
Altura (cm)	19.80	19.90	19.78	19.78	19.88	19.97
Masa (kg)	10.41	10.20	10.46	9.98	10.56	10.44
Área (cm ²)	401.20	390.80	403.20	402.80	402.80	403.60
Carga (kg)	1,5651.26	1,2549.29	1,9850.92	1,7687.09	2,3115.99	2,0002.86
Resistencia (kg/cm ²)	39.01	32.11	49.23	43.91	57.39	49.56

Capítulo V: Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se presentan y comparan los parámetros elegidos del sistema “hormi2” para tabiquería, con mortero vertido y proyectado.

5.1 Rendimientos

Los rendimientos que se presentan a continuación para el mortero proyectado, han sido proporcionados por Panecons SA. El cálculo de horas hombre es igual que en la sección 4.2.3. Los rendimientos y horas hombre medidos y calculados se muestran en las tablas 5.1 y 5.2, respectivamente.

Tabla 5.1

Rendimiento de cada rubro

Rubro	Cuadrilla	Rendimiento
Timbrado de la superficie	1E2 + 1D2 + 0.08C1	7.00m/h
Chicoteado de la superficie	1E2 + 1D2 + 1C1	7.00m/h
Montaje de paneles “hormi2”	1E2 + 1D2 + 1C1	8.25m ² /h
Apuntalamiento de paneles	2E2 + 1D2	15.00m ² /h
Preparación del mortero	3E2 + 1D2 + 0.1C1	0.75m ³ /h
Proyección del mortero (1 ^{era} capa)	1E2 + 1D2 + 0.25C1	33.00m ² /h
Proyección del mortero (2 ^{da} capa)	1E2 + 1D2 + 0.25C1	16.00m ² /h
Terminado	2E2 + 5D2 + 0.2C1	20.00m ² /h

Tabla 5.2

Horas hombre para cada rubro

Rubro	Categoría trabajador	a	b	c	Horas hombre
Timbrado de la superficie (m)	E2	1.00	1.00	7.00	0.143
	D2	1.00	1.00	7.00	0.143
	C1	0.08	1.00	7.00	0.011
Chicoteado de la superficie (m)	E2	1.00	1.00	7.00	0.143
	D2	1.00	1.00	7.00	0.143
	C1	1.00	1.00	7.00	0.143
Montaje de paneles “hormi2” (m ²)	E2	1.00	1.00	8.25	0.121
	D2	1.00	1.00	8.25	0.121
	C1	1.00	1.00	8.25	0.121
Apuntalamiento de paneles (m ²)	E2	2.00	1.00	15.00	0.133
	D2	1.00	1.00	15.00	0.067
Preparación del mortero (m ³)	E2	3.00	1.00	0.75	3.990
	D2	1.00	1.00	0.75	1.330
	C1	0.10	1.00	0.75	0.130
Proyección del mortero (m ² 1 ^{era} capa)	E2	1.00	1.00	33.00	0.030
	D2	1.00	1.00	33.00	0.030
	C1	0.25	1.00	33.00	0.008
Proyección del mortero (m ² 2 ^{da} capa)	E2	1.00	1.00	16.00	0.063
	D2	1.00	1.00	16.00	0.063
	C1	0.25	1.00	16.00	0.016
Terminado (m ²)	E2	2.00	1.00	20.00	0.100
	D2	5.00	1.00	20.00	0.250
	C1	0.20	1.00	20.00	0.010

Nota: El rubro de preparación del mortero incluye aditivo superplastificante y no incluye concretera. El espesor del mortero en la proyección de la primera capa es 1cm y en la segunda 2.5cm.

5.2 Análisis de precios unitarios

Los siguientes análisis fueron provistos por Panecons SA, estos son los que la empresa usa actualmente.

Tabla 5.3

Análisis de precios unitarios: timbrado de la superficie

RUBRO:	TIMBRADO DE LA SUPERFICIE	UNIDAD:	m
--------	---------------------------	---------	---

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
			TOTAL	

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.143	0.47
Categoría D2	1.00	3.30	0.143	0.47
Categoría C1	0.08	3.66	0.011	0.04
			TOTAL	0.98

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.029	0.143	0.04
			TOTAL	0.04

COSTO DIRECTO	0.98
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.20
SUBTOTAL	1.18
IVA 12%	0.14
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	1.32

Tabla 5.4

Análisis de precios unitarios: chicoteado de la superficie

RUBRO:	CHICOTEADO DE LA SUPERFICIE	UNIDAD:	m
--------	-----------------------------	---------	---

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Acero de refuerzo FY=4200kg/cm ²	kg	0.88	1.09	0.96
Alambre de amarre	kg	0.85	2.19	1.86
			TOTAL	2.82

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.143	0.47
Categoría D2	1.00	3.30	0.143	0.47
Categoría C1	1.00	3.66	0.143	0.52
			TOTAL	1.46

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.044	0.143	0.01
			TOTAL	0.01

COSTO DIRECTO	4.29
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.86
SUBTOTAL	5.15
IVA 12%	0.62
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	5.76

Tabla 5.5

Análisis de precios unitarios: montaje de paneles "hormi2"

RUBRO:	MONTAJE DE PANELES "HORMI2"	UNIDAD:	m ²
--------	-----------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Panel Simple PST40 (espesor terminado = 10cm)	m ²	1.00	10.44	10.44
Malla RG2	u	0.67	1.19	0.797
Malla perfilada tipo "U"	u	0.67	1.54	1.03
Alambre recocido No. 18	kg	0.17	1.24	0.21
			TOTAL	12.48

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.121	0.39
Categoría D2	1.00	3.30	0.121	0.40
Categoría C1	1.00	3.66	0.121	0.44
			TOTAL	1.24

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.037	0.121	0.004
			TOTAL	0.004

COSTO DIRECTO	13.72
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	2.74
SUBTOTAL	16.47
IVA 12%	1.98
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	18.44

Tabla 5.6

Análisis de precios unitarios: apuntalamiento de paneles

RUBRO:	APUNTALAMIENTO DE PANELES	UNIDAD:	m ²
--------	---------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Alfajía de eucalipto 4x6cm cepillada L=2,4m	u	0.34	2.50	0.85
Alambre de amarre	kg	0.022	2.31	0.051
Clavos de acero 2"	kg	0.02	2.26	0.045
			TOTAL	0.95

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	2.00	3.26	0.133	0.43
Categoría D2	1.00	3.30	0.067	0.22
			TOTAL	0.65

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	1.00	0.020	0.067	0.001
			TOTAL	0.001

COSTO DIRECTO	1.60
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.32
SUBTOTAL	1.92
IVA 12%	0.23
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	2.15

Tabla 5.7

Análisis de precios unitarios: preparación del mortero

RUBRO:	PREPARACIÓN DEL MORTERO	UNIDAD:	m ³
--------	-------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Arena	m ³	1.141	16.11	18.37
Cemento	kg	325	0.18	58.50
Agua	m ³	0.24	0.78	0.19
Aditivo Superplastificante	l	2.60	2.36	6.14
			TOTAL	83.19

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	3.00	3.26	3.99	13.01
Categoría D2	1.00	3.30	1.33	4.39
Categoría C1	0.10	3.66	0.13	0.48
			TOTAL	17.87

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	2.00	0.536	2.66	1.43
Concretera	1.00	2.80	1.33	3.72
			TOTAL	5.15

COSTO DIRECTO	106.21
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	21.24
SUBTOTAL	127.45
IVA 12%	15.29
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	142.75

Tabla 5.8

Análisis de precios unitarios: proyección del mortero (1^{era} capa)

RUBRO:	PROYECCIÓN DEL MORTERO (1 ^{era} CAPA, e=1cm) No incluye andamios	UNIDAD:	m ²
--------	--	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Gasolina	1	0.09	0.40	0.04
			TOTAL	0.04

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.03	0.10
Categoría D2	1.00	3.30	0.03	0.10
Categoría C1	0.25	3.66	0.008	0.03
			TOTAL	0.23

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	2.00	0.007	0.06	0.001
Equipo de proyección (compresor)	1.00	15.00	0.03	0.45
			TOTAL	0.45

COSTO DIRECTO	0.71
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.14
SUBTOTAL	0.86
IVA 12%	0.10
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	0.96

Tabla 5.9

Análisis de precios unitarios: proyección del mortero (2^{da} capa)

RUBRO:	PROYECCIÓN DEL MORTERO (2 ^{da} CAPA, e=2.5cm) No incluye andamios	UNIDAD:	m ²
--------	---	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Gasolina	1	0.09	0.40	0.04
			TOTAL	0.04

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	1.00	3.26	0.063	0.21
Categoría D2	1.00	3.30	0.063	0.21
Categoría C1	0.25	3.66	0.016	0.06
			TOTAL	0.47

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	2.00	0.014	0.126	0.002
Equipo de proyección (compresor)	1.00	15.00	0.063	0.95
			TOTAL	0.95

COSTO DIRECTO	1.46
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.29
SUBTOTAL	1.75
IVA 12%	0.21
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	1.96

Tabla 5.10

Análisis de precios unitarios: terminado

RUBRO:	TERMINADO No incluye andamios	UNIDAD:	m ²
--------	----------------------------------	---------	----------------

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
			TOTAL	

CUADRILLA TIPO	CANTIDAD	SALARIO REAL/HORA	RENDIMIENTO H.HOMBRE	COSTO TOTAL
Categoría E2	2.00	3.26	0.10	0.33
Categoría D2	5.00	3.30	0.25	0.83
Categoría C1	0.20	3.66	0.01	0.04
			TOTAL	1.19

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO HORA/EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor	3.0	0.036	0.15	0.005
			TOTAL	0.005

COSTO DIRECTO	1.19
COSTOS INDIRECTOS (20% CD)	0.24
SUBTOTAL	1.43
IVA 12%	0.17
PRECIO UNITARIO TOTAL USD	1.60

5.3 Balance de cuadrillas

Las tablas 5.11 a la 5.18 describen los tiempos productivos, contributorios y no contributorios de los rubros ejecutados para la construcción de una tabiquería mediante la proyección de mortero. Estos tiempos fueron medidos por el personal de Panecons SA en uno de sus proyectos recientes.

Tabla 5.11

Tiempos para timbrado de la superficie

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		35	6	41
1	D2: Carlos		38	3	41
1	C1: Víctor		4		4

Tabla 5.12

Tiempos para chicoteado de la superficie

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan	20	18	3	41
1	D2: Carlos	16	24	1	41
1	C1: Víctor		30	11	41

Tabla 5.13

Tiempos para montaje de paneles “hormi2”

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan	38	6		44
1	D2: Carlos	25	14	5	44
1	C1: Víctor		25	19	44

Tabla 5.14

Tiempos para apuntalamiento de paneles

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		18	6	24
2	E2: Manuel		16	8	24
1	D2: Carlos		11	13	24

Tabla 5.15

Tiempos para preparación del mortero

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		30	3	33
2	E2: Manuel		26	7	33
3	E2: Pedro		25	8	33
1	D2: Carlos		30	3	33
1	C1: Víctor		4		4

Tabla 5.16

Tiempos para proyección del mortero (1^{era} capa)

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		18	4	22
1	D2: Carlos	20		2	22
1	C1: Víctor		6		6

Tabla 5.17

Tiempos para proyección del mortero (2^{da} capa)

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		30	16	46
1	D2: Carlos	40		6	46
1	C1: Víctor		8		8

Tabla 5.18

Tiempos para terminado

N°	Categoría	Tiempos (minutos)			Total
		Productivo	Contributorio	No Contributorio	
1	E2: Juan		30	7	37
2	E2: Manuel		25	12	37
1	D2: Carlos	35		2	37
2	D2: Andrés	33		4	37
3	D2: Milton	32	5		37
4	D2: Fernando	29	3	5	37
5	D2: Luis	25		12	
1	D2: Carlos		8		8

De la figura 9 a la 23 se muestran los balances de cuadrillas para cada rubro de los sistemas: proyectado y vertido. En estas se relaciona la mano de obra y los tiempos de trabajo; estos se identifican como P (tiempo productivo), C (tiempo contributorio) y NC (tiempo no contributorio).

5.3.1 Balance de cuadrillas: mortero proyectado.

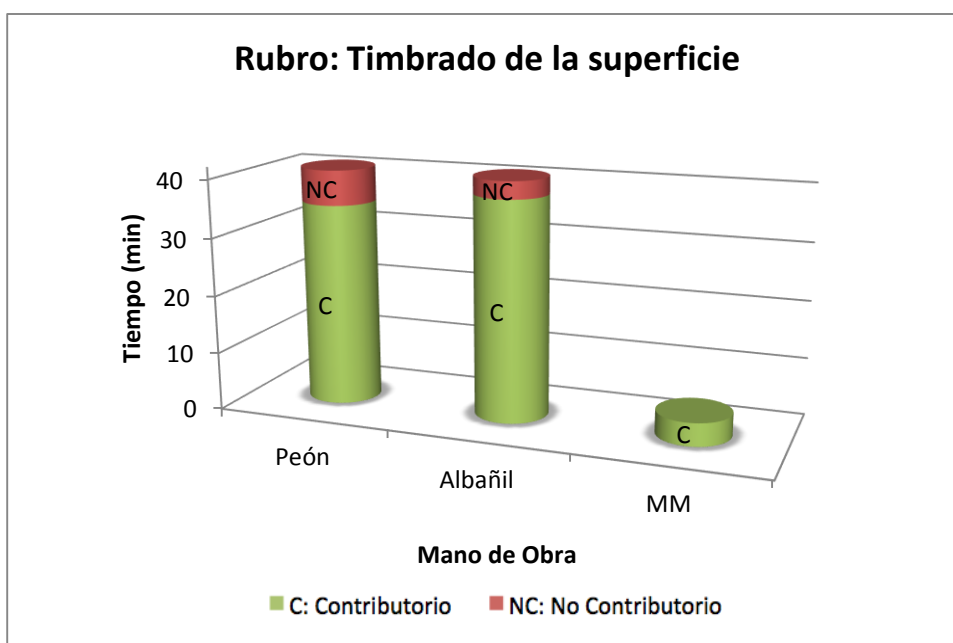


Figura 9. Balance de cuadrillas de timbrado de superficie.

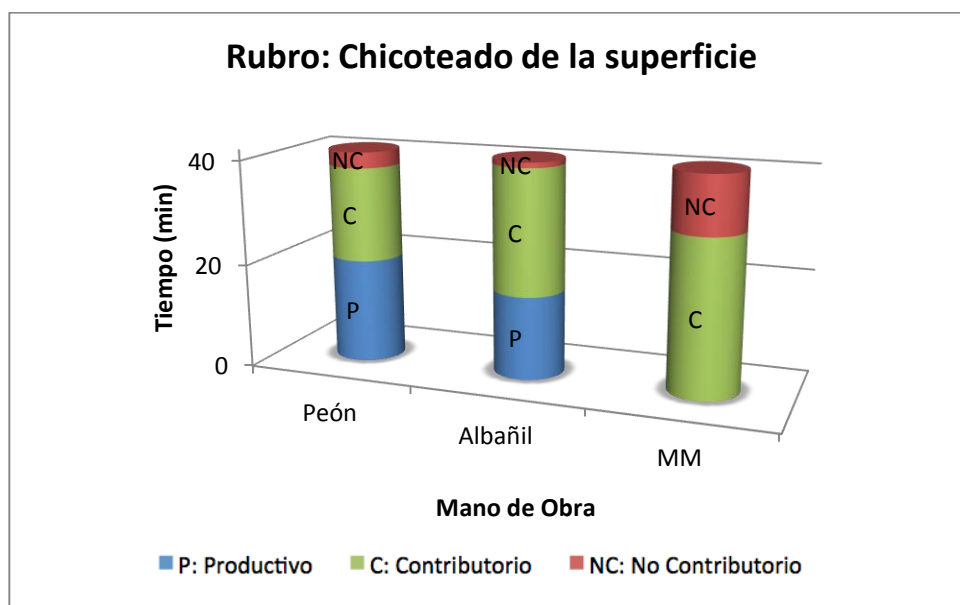


Figura 10. Balance de cuadrillas para chicoteado de la superficie.

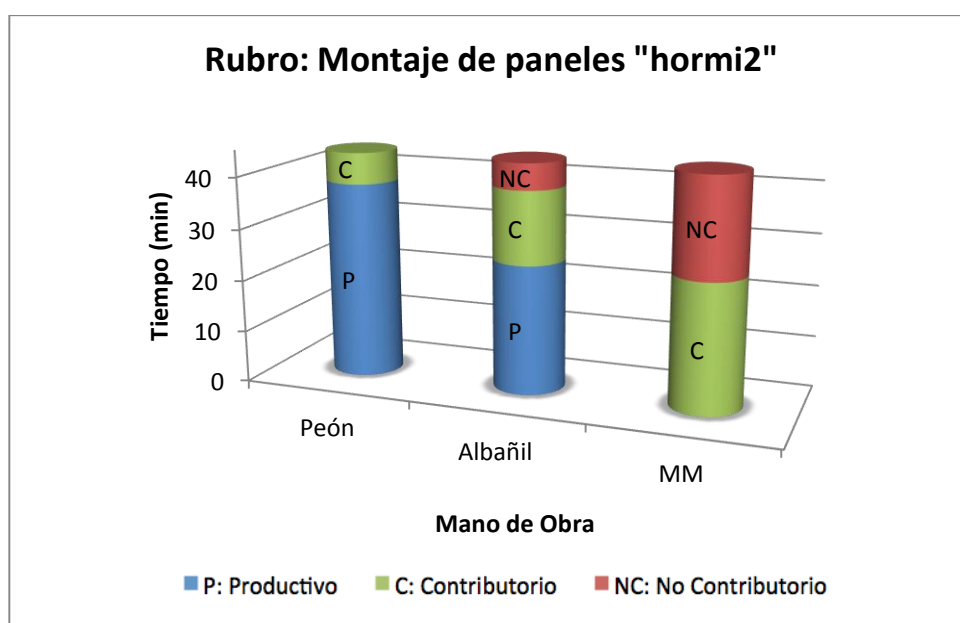


Figura 11. Balance de cuadrillas para montaje de paneles "hormi2".

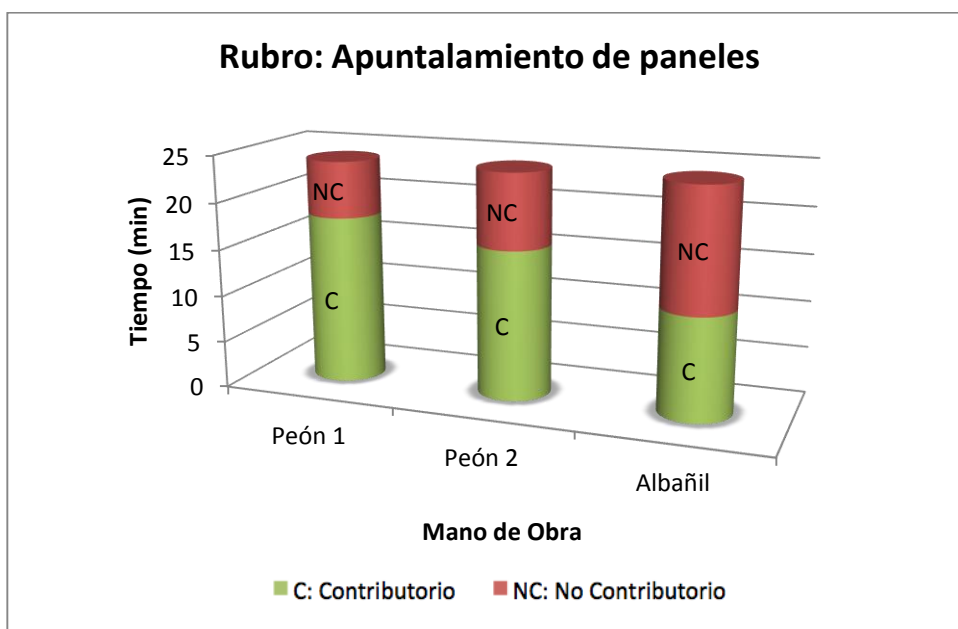


Figura 12. Balance de cuadrillas de apuntalamiento de paneles.

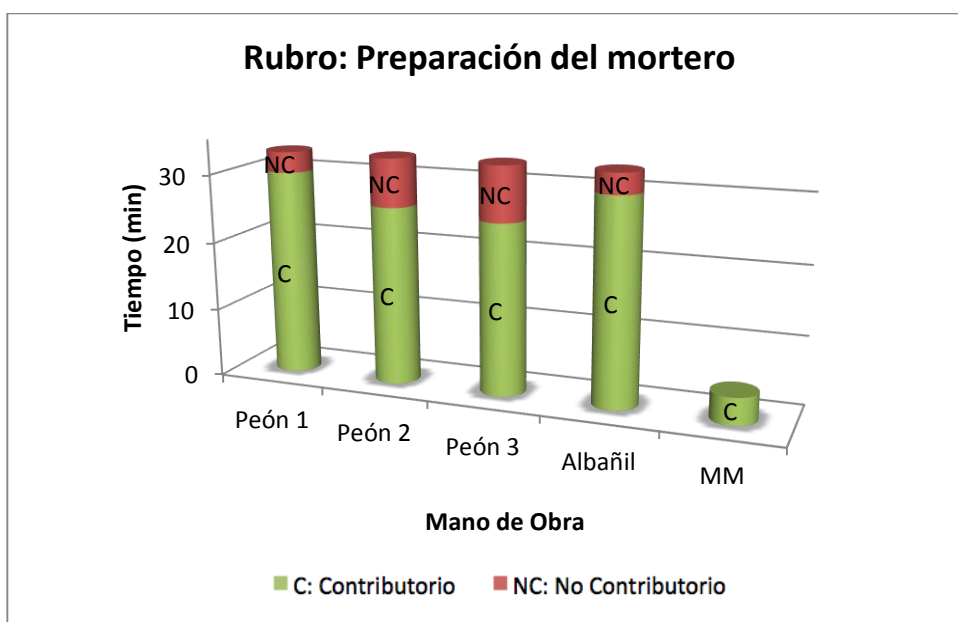


Figura 13. Balance de cuadrillas de preparación del mortero.

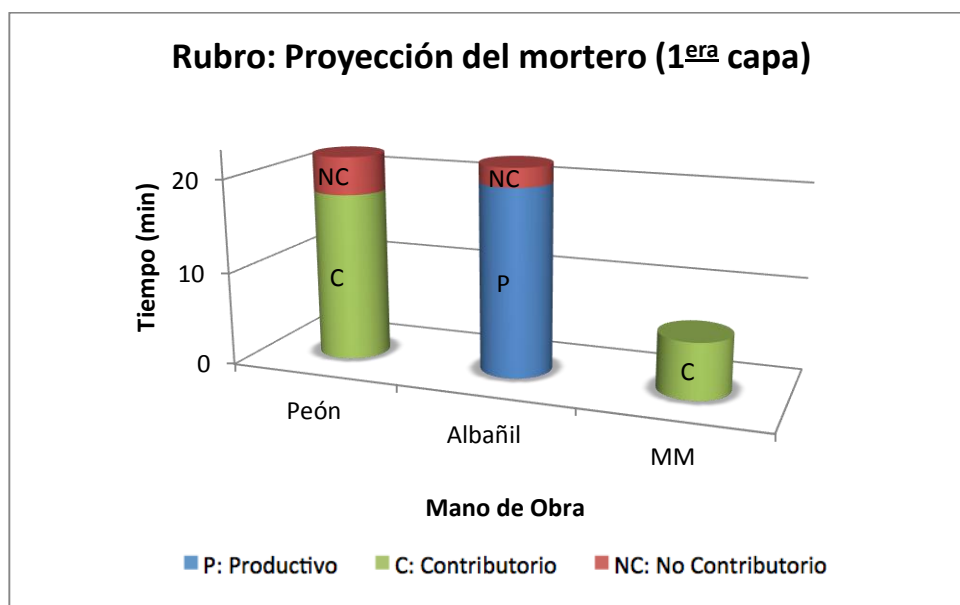


Figura 14. Balance de cuadrillas de proyección de mortero (1^{era} capa)

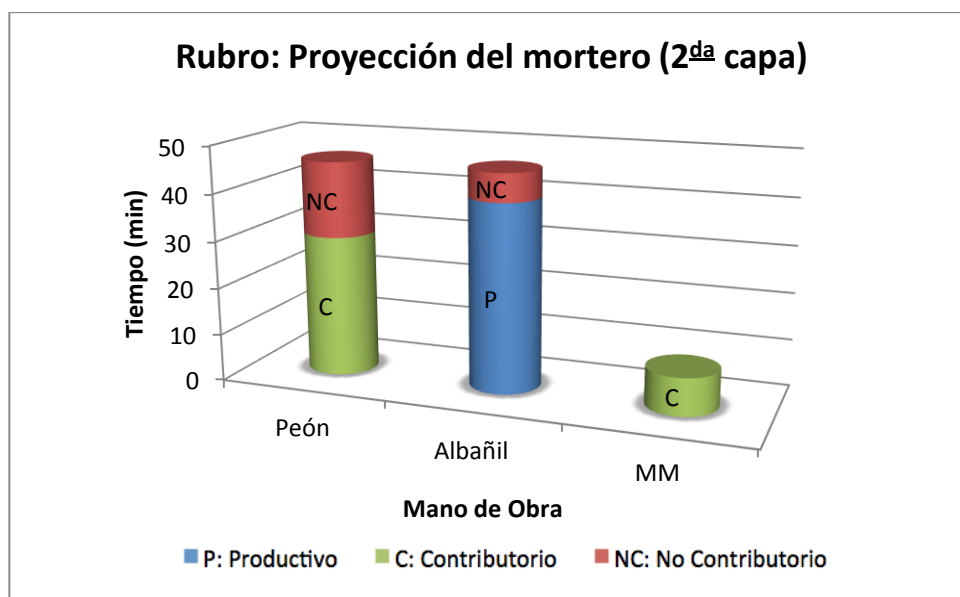


Figura 15. Balance de cuadrillas de proyección de mortero (2^{da} capa)

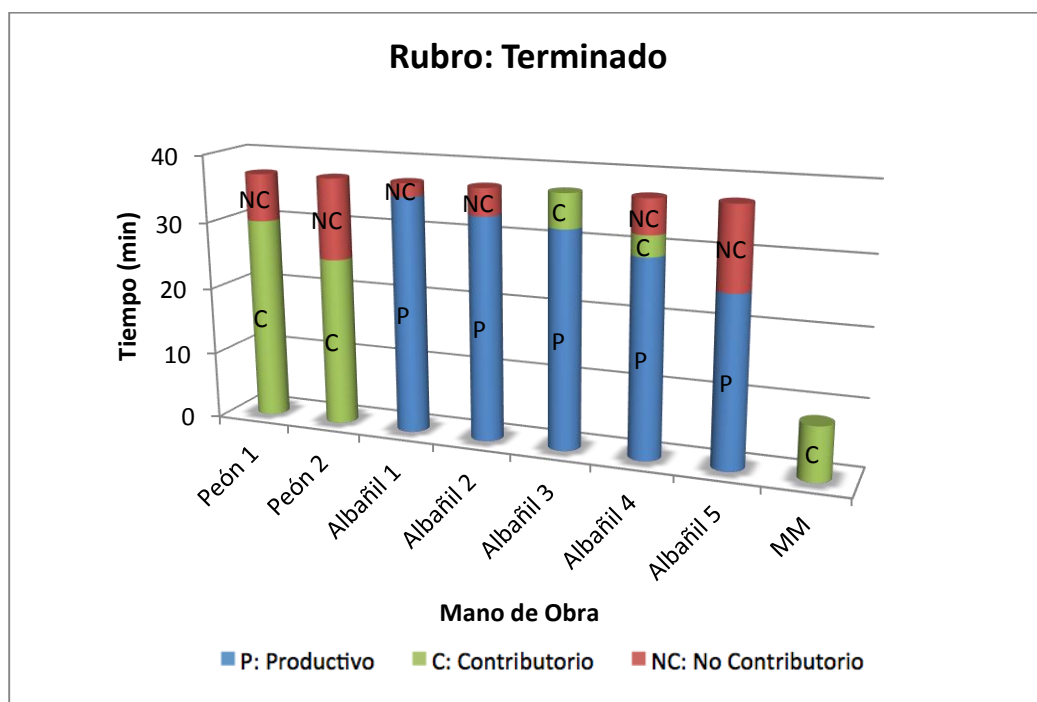


Figura 16. Balance de cuadrillas de terminado.

5.3.2 Balance de cuadrillas: mortero vertido.

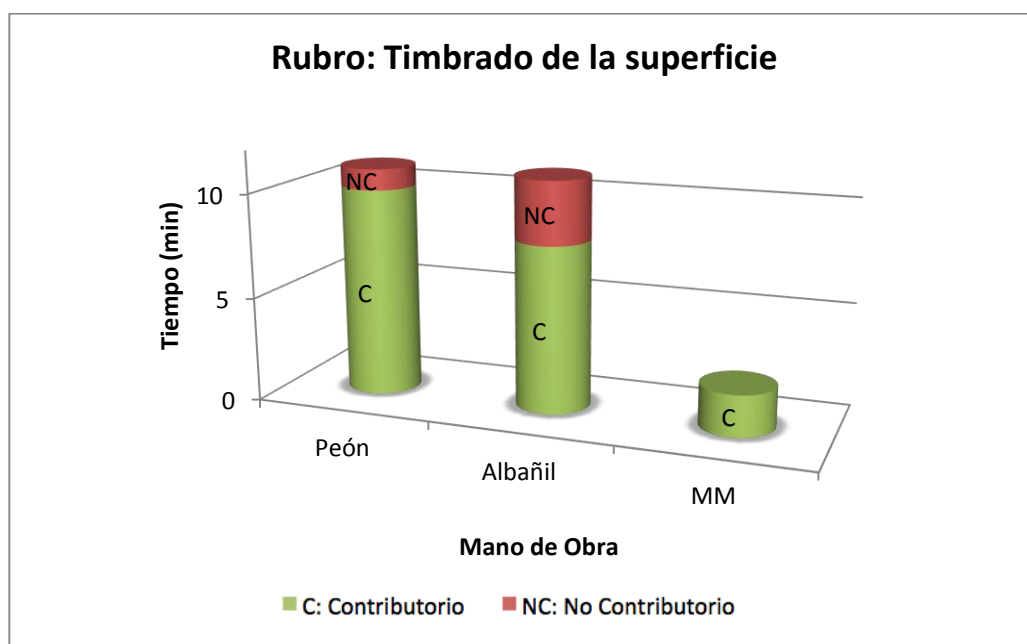


Figura 17. Balance de cuadrillas de timbrado de la superficie.

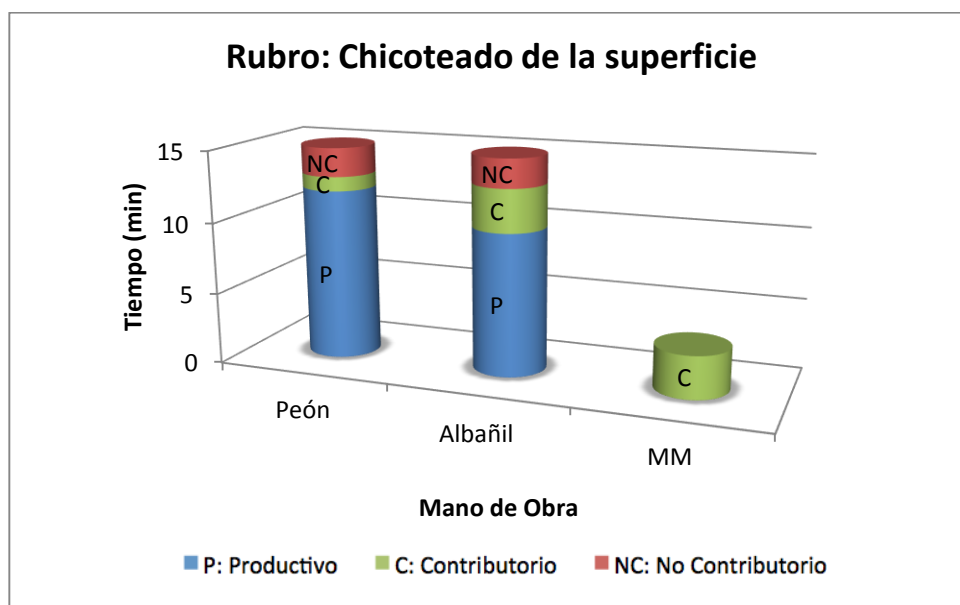


Figura 18. Balance de cuadrillas de chicoteado de la superficie.

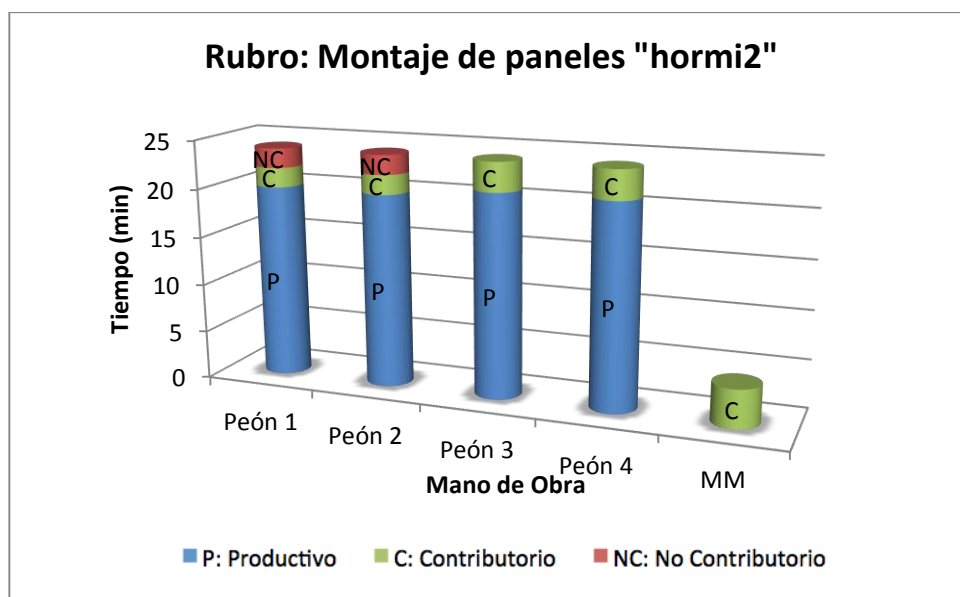


Figura 19. Balance de cuadrillas de montaje de paneles "hormi2".

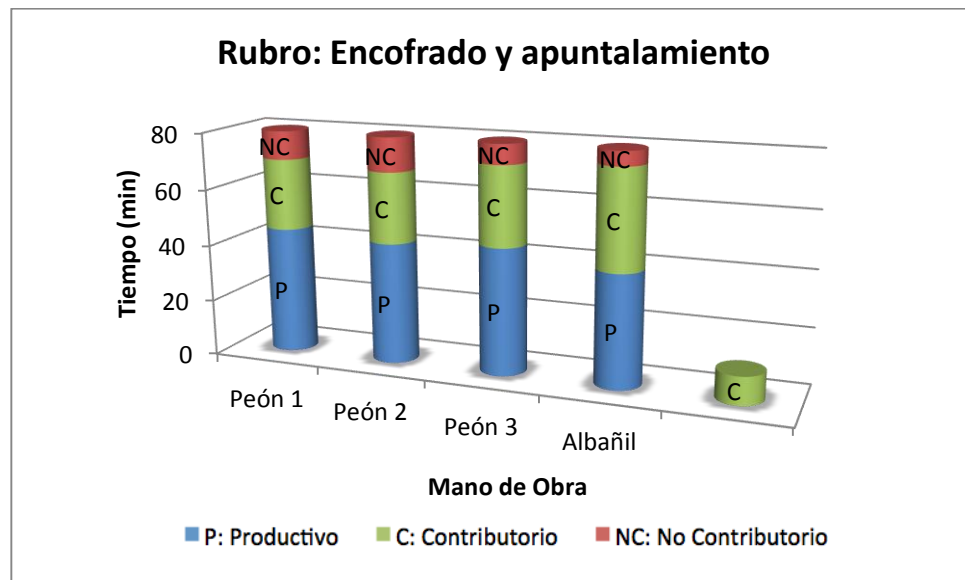


Figura 20. Balance de cuadrillas de encofrado y apuntalamiento.

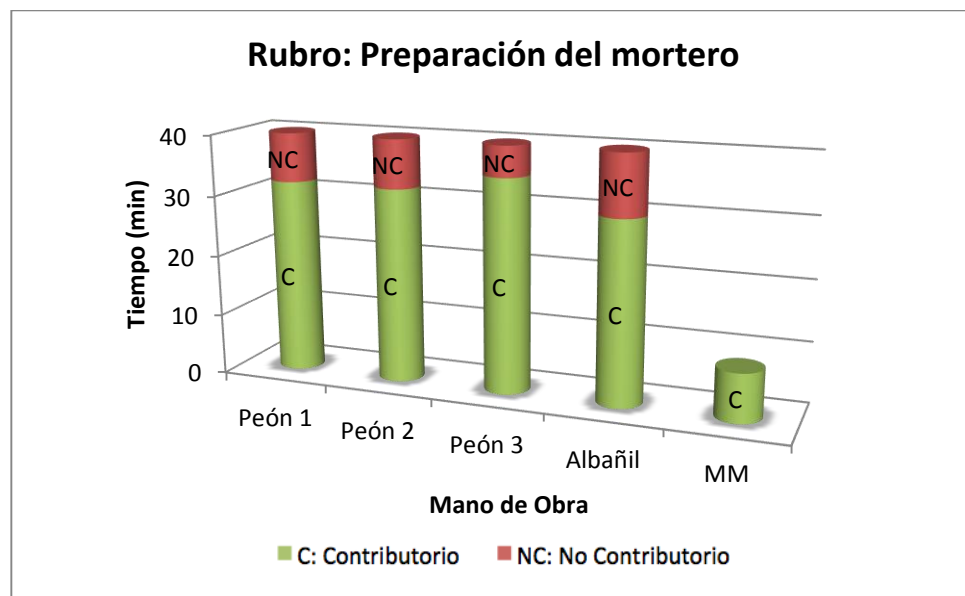


Figura 21. Balance de cuadrillas de preparación del mortero.

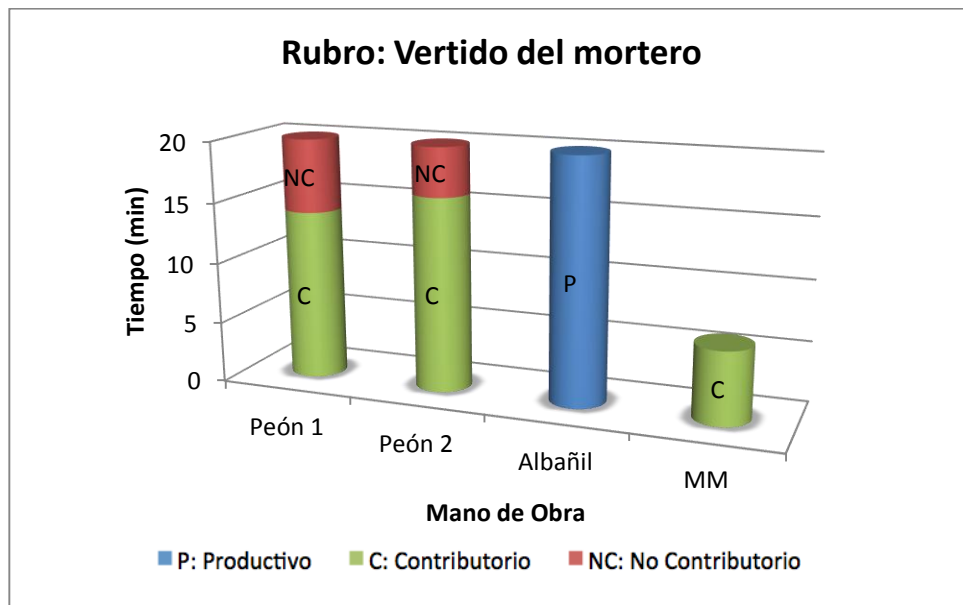


Figura 22. Balance de cuadrillas de vertido del mortero.

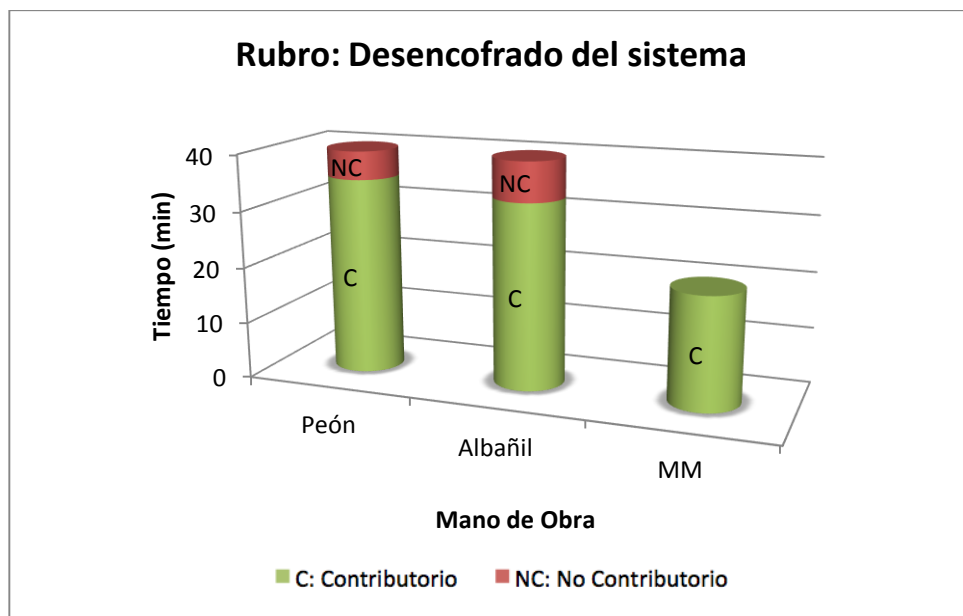


Figura 23. Balance de cuadrillas de desencofrado del sistema.

5.4 Diagramas de productividad

Para la elaboración de estos diagramas se sumaron los tiempos de trabajo de cada individuo, de esta forma se consigue un gráfico que muestra la productividad del rubro. De la

misma manera se elabora un diagrama de productividad total, el cual es el resultado de la suma de la productividad de cada rubro. Con este diagrama se evalúa la productividad total de cada sistema. En las figuras 24 a la 38 se muestran los diagramas de productividad para los rubros de los sistemas con mortero proyectado y vertido.

5.4.1 Diagramas de productividad: mortero proyectado.

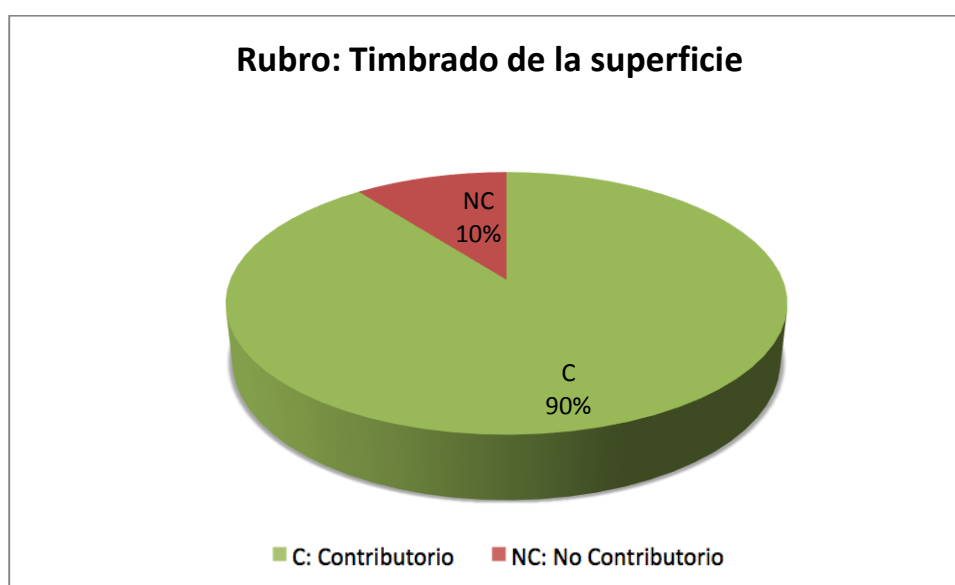


Figura 24. Diagrama de productividad de timbrado de la superficie.

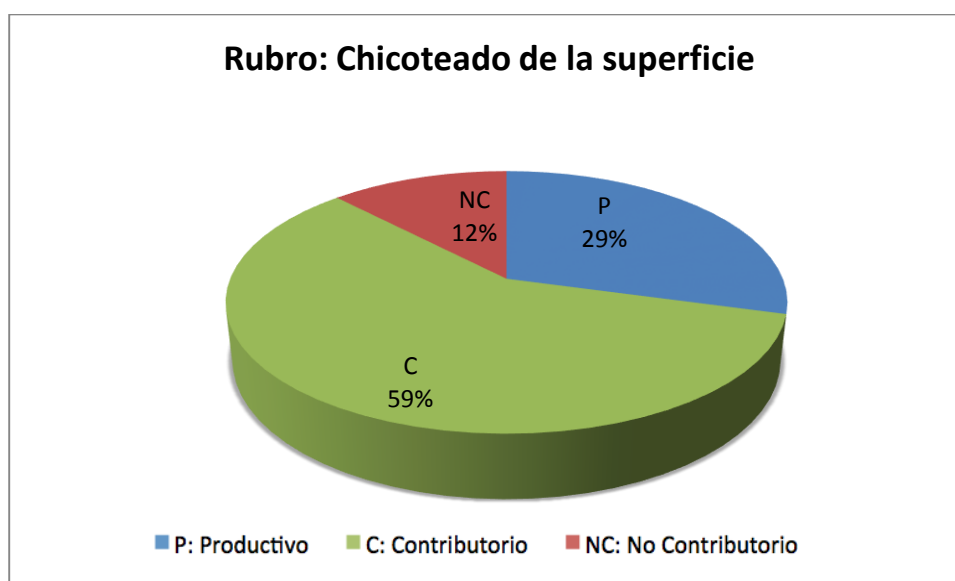


Figura 25. Diagrama de productividad de chicoteado de la superficie.

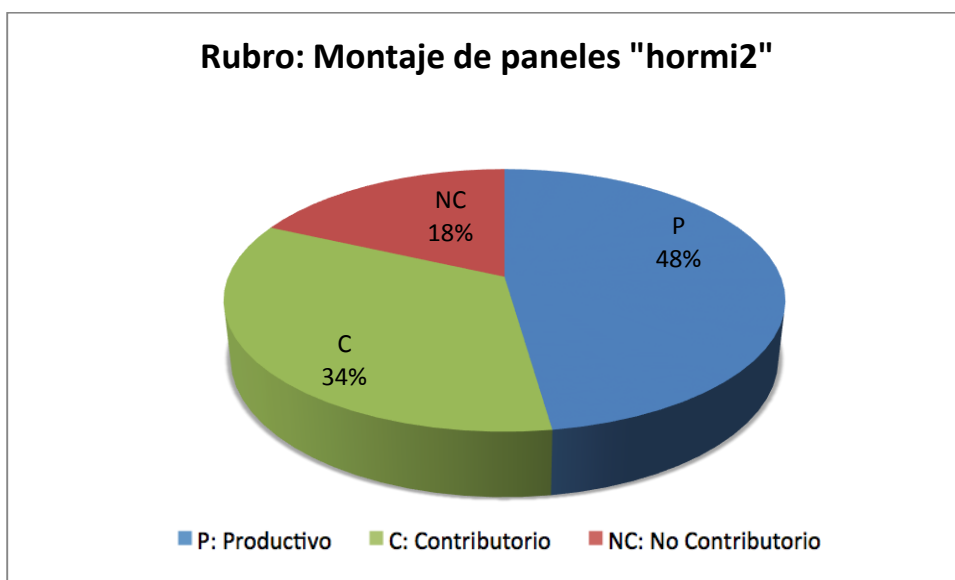


Figura 26. Diagrama de productividad de montaje de paneles “hormi2”.

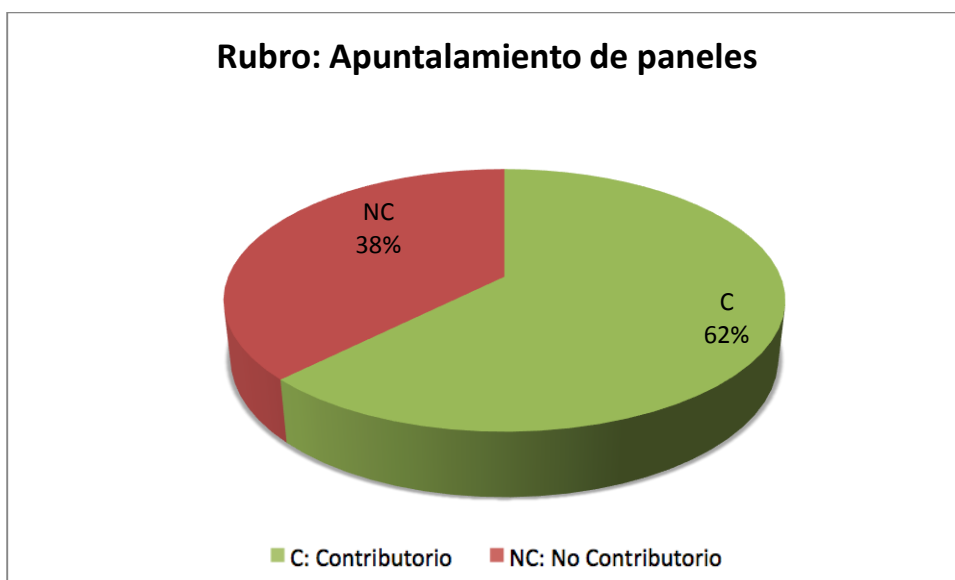


Figura 27. Diagrama de productividad de apuntalamiento de paneles.

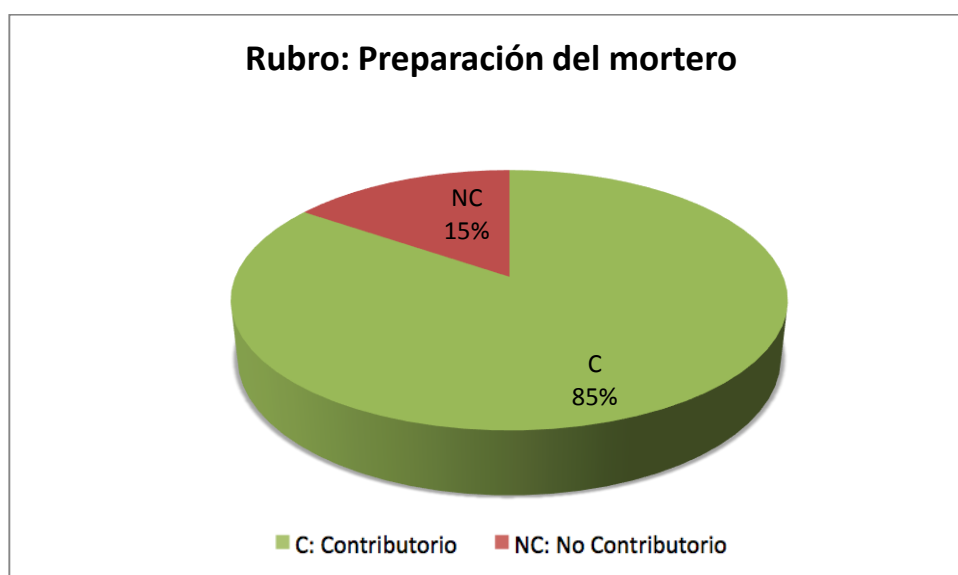


Figura 28. Diagrama de productividad de preparación del mortero.

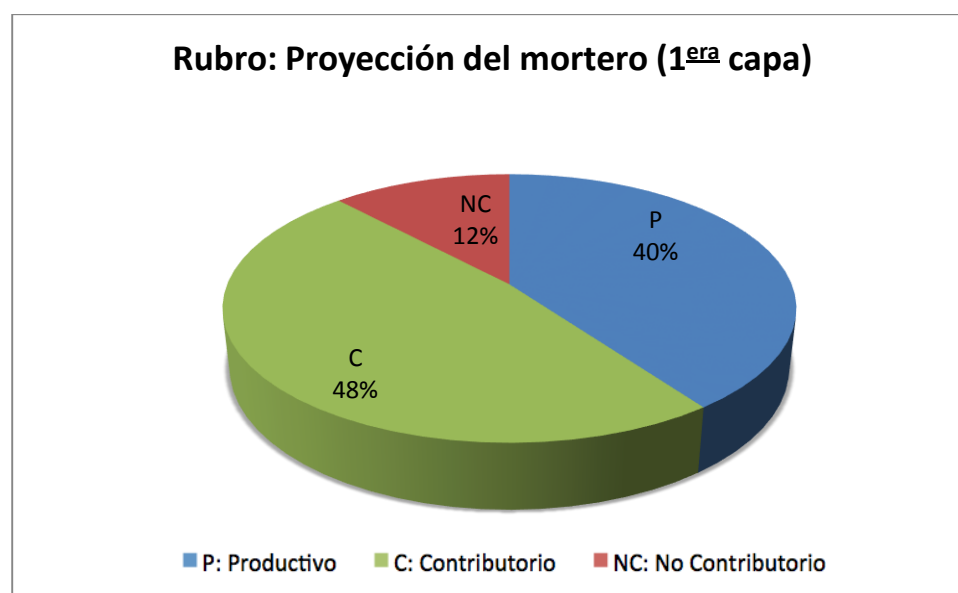


Figura 29. Diagrama de productividad de proyección del mortero (1^{era} capa).

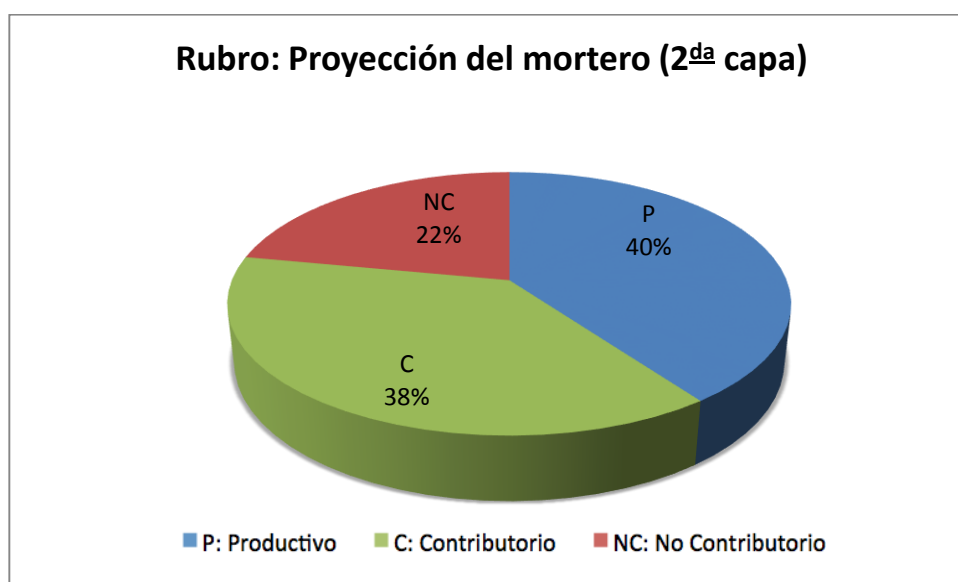


Figura 30. Diagrama de productividad de proyección del mortero (2^{da} capa).

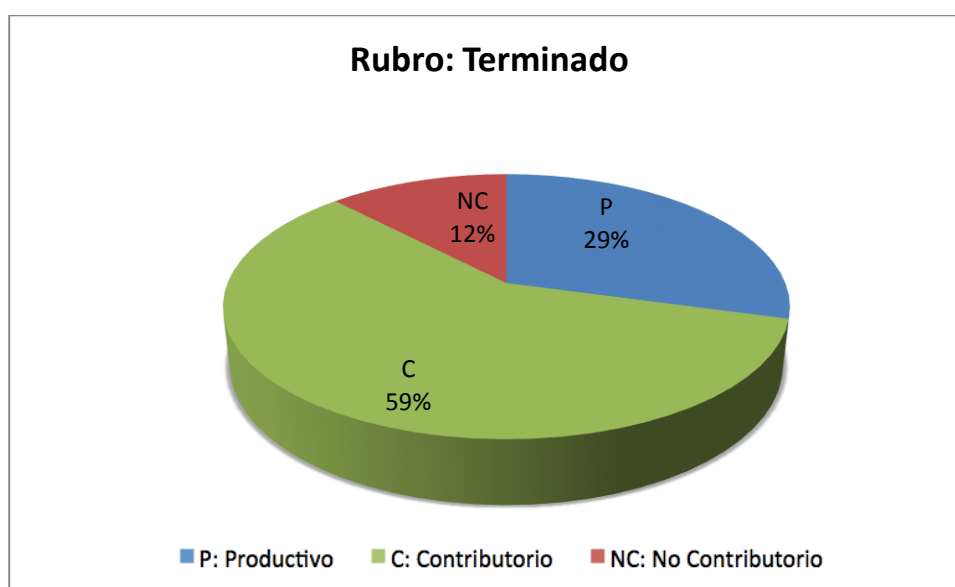


Figura 31. Diagrama de productividad de terminado.

5.4.2 Diagramas de productividad: mortero vertido.

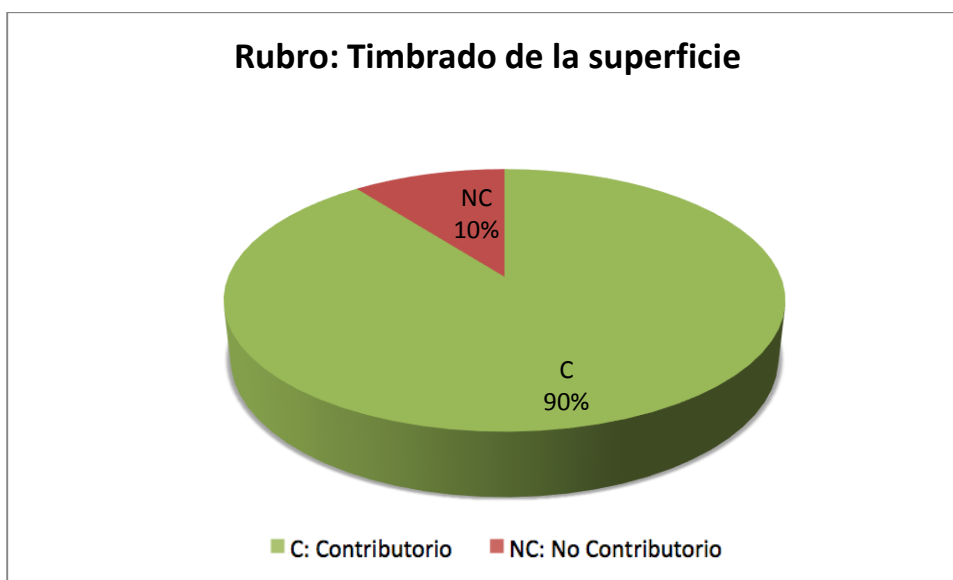


Figura 32. Diagrama de productividad de timbrado de la superficie.

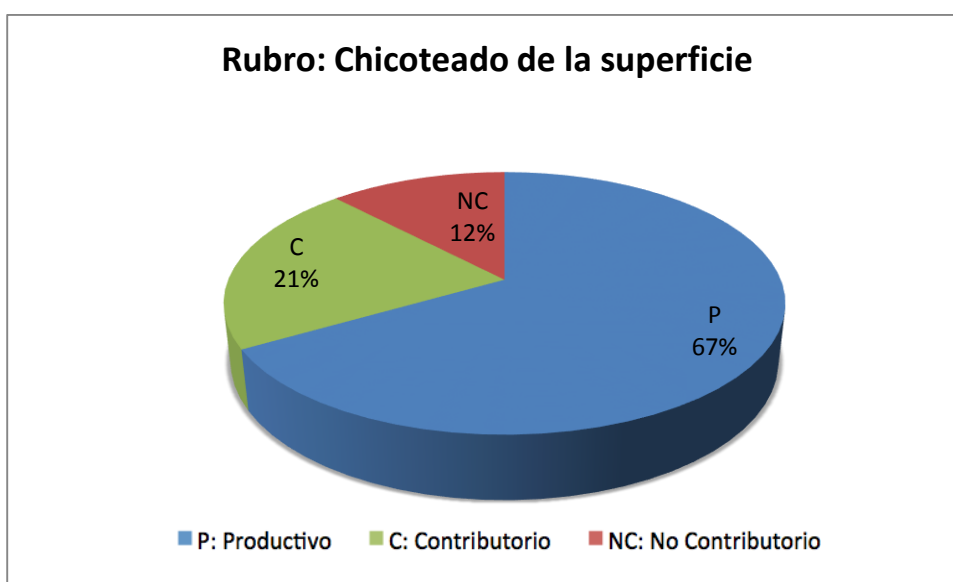


Figura 33. Diagrama de productividad de chicoteado de la superficie.

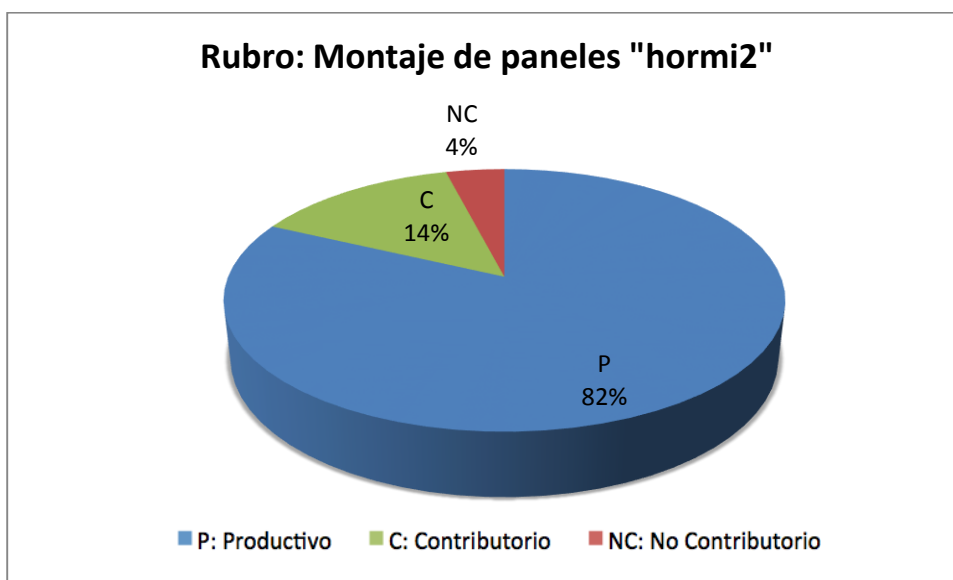


Figura 34. Diagrama de productividad de montaje de paneles “hormi2”.

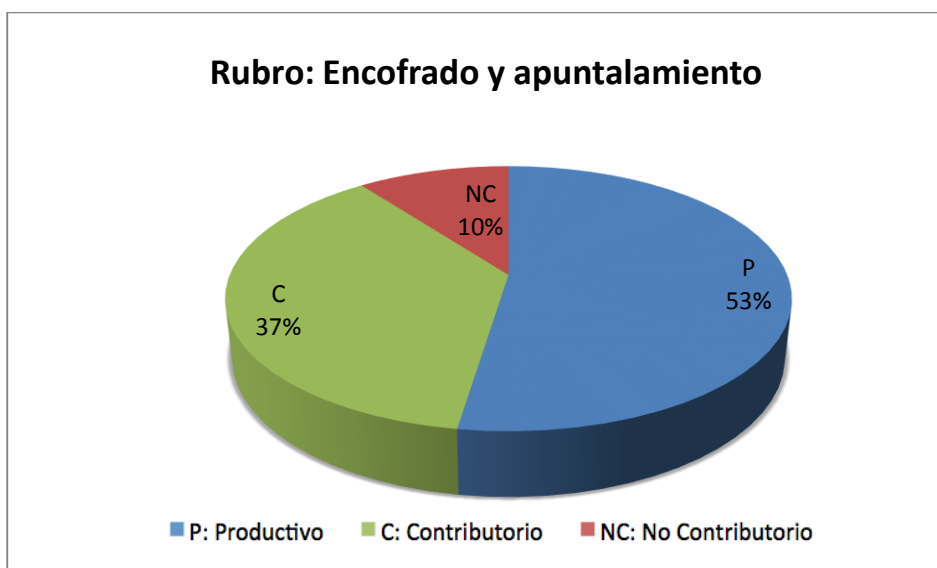


Figura 35. Diagrama de productividad de encofrado y apuntalamiento.

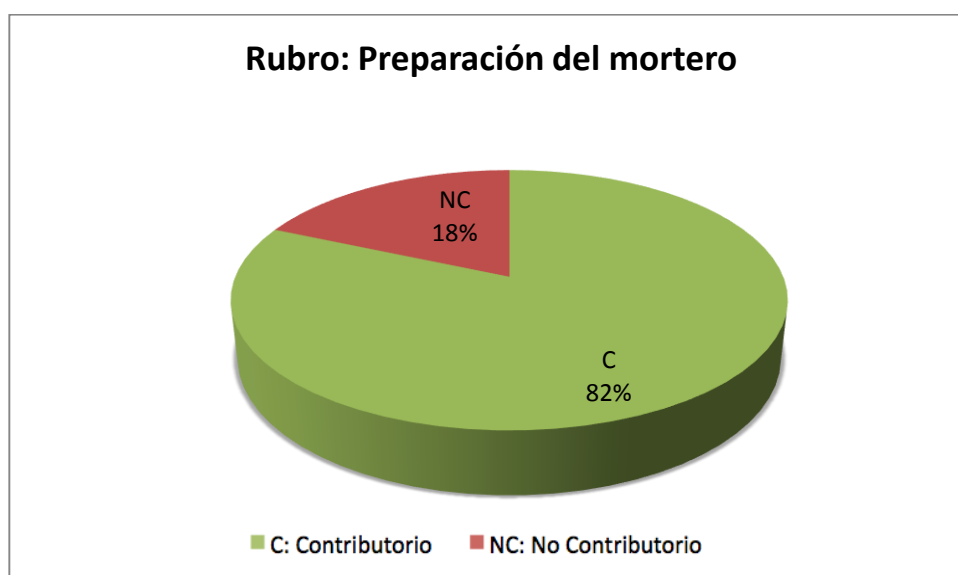


Figura 36. Diagrama de productividad de preparación del mortero.

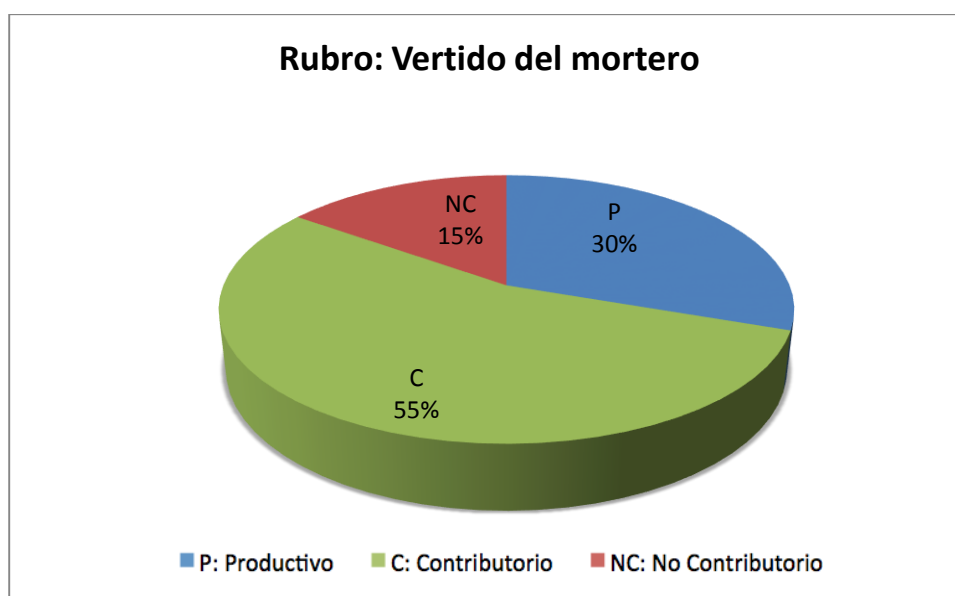


Figura 37. Diagrama de productividad de vertido del mortero.

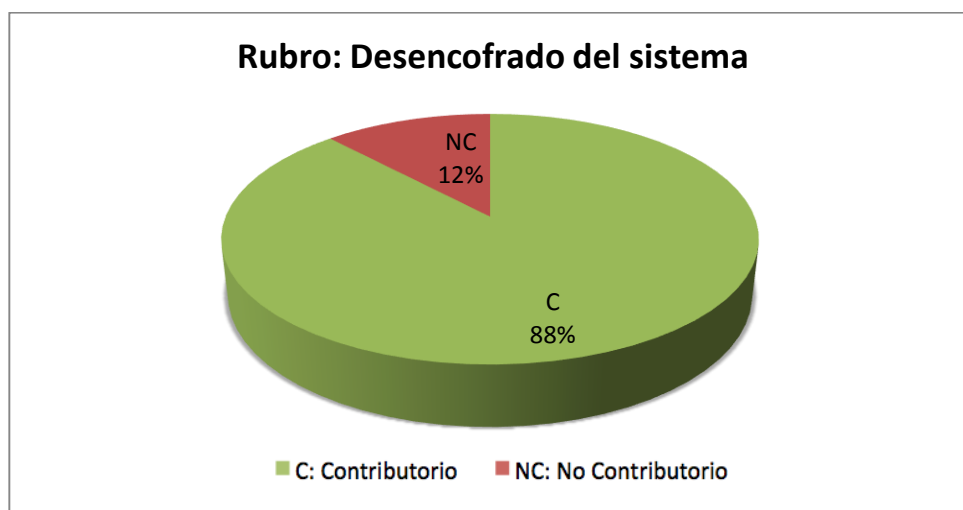


Figura 38. Diagrama de productividad de desencofrado del sistema.

5.5 Resistencia a la compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión del mortero utilizado en la prueba de campo, se llevaron a cabo en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Ver sección 3.3.1). Por otro lado, los resultados del mortero empleado por Panecons SA fueron proporcionados por la misma entidad, estos se muestran en la tabla 5.19.

Tabla 5.19

Resistencia a la compresión de mortero PUCE vs “hormi2”

Mortero PUCE (kg/cm ²)			Mortero “hormi2” (kg/cm ²)		
7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
54.60	76.60	115.90	65.00	85.00	100.00

Nota: Fuente: Panecons SA (comunicación personal, 11 de noviembre, 2015)

A los 28 días, los resultados de resistencia a la compresión del mortero ensayado en la PUCE y utilizado para el ensayo en Latacunga, proporcionaron valores superiores a los recomendados por Panecons SA; a diferencia de estos, los valores a los 7 y 14 días de ensayo se encuentran por debajo de los límites recomendados para estas edades.

A continuación la tabla 5.20 muestra los resultados promediados de resistencia a la compresión del sistema a los 7, 14 y 28 días; estos ensayos se realizaron con la modelación de probetas descritas en la sección 4.2.6.

Tabla 5.20

Resistencia a la compresión de probetas PUCE

7 días (kg/cm ²)		14 días (kg/cm ²)		28 días (kg/cm ²)	
Con malla	Sin malla	Con malla	Sin malla	Con malla	Sin malla
39.01	32.11	49.23	43.91	57.39	46.56

5.6 Comparación de ambos sistemas

5.6.1 Rendimientos.

Con los rendimientos obtenidos en campo (sistema con mortero vertido) y los proporcionados por Panecons SA (sistema con mortero proyectado) se calculó los tiempos de trabajo de cada rubro para la construcción de 1m² de sistema “hormi2”, estos se muestran en las tablas 5.21 y 5.22.

Tabla 5.21

Rendimientos y tiempos para 1m² de sistema con mortero vertido

Rubro	Unidad	Rendimiento	Tiempo para 1m ² (min)
Timbrado de la superficie	m/h	26.67	5
Chicoteado de la superficie	m/h	19.20	7
Montaje de paneles “hormi2”	m ² /h	15.00	4
Encofrado y apuntalamiento	m ² /h	9.21	13
Preparación de mortero	m ³ /h	0.62	7
Vertido del mortero	m ² /h	37.12	4
Desencofrado del sistema	m ² /h	18.28	7
Total			47

Tabla 5.22

Rendimientos y tiempos para 1m² de sistema con mortero proyectado

Rubro	Unidad	Rendimiento	Tiempo para 1m ² (min)
Timbrado de la superficie	m/h	7.00	18
Chicoteado de la superficie	m/h	7.00	18
Montaje de paneles “hormi2”	m ² /h	8.25	8
Apuntalamiento de paneles	m ² /h	15.00	4
Preparación de mortero	m ³ /h	0.75	6
Proyección del mortero (1 ^{era} capa)	m ² /h	33.00	4
Proyección del mortero (2 ^{da} capa)	m ² /h	16.00	8
Terminado	m ² /h	20.00	6
Total			72

La construcción de 1m² de sistema “hormi2” mediante vertido de mortero tomará un tiempo de 47 minutos, mientras que el mismo con proyección de mortero demorará un tiempo de 72 minutos.

5.6.2 Análisis de precios unitarios.

En las tablas 5.23 y 5.24 se presentan los precios unitarios de los rubros contemplados para la construcción del sistema “hormi2” mediante vertido y proyección de mortero. Con estos, se determina el precio total para 1m² de sistema.

Tabla 5.23

Análisis de precios unitarios para 1 m² de sistema con mortero vertido

Rubro	Unidad	Precio Unitario (\$)	Precio para 1 m ² (\$)
Timbrado de la superficie	m	0.36	0.72
Chicoteado de la superficie	m	2.46	4.92
Montaje de paneles “hormi2”	m ²	18.28	18.28
Encofrado y apuntalamiento	m ²	27.33	54.66
Preparación de mortero	m ³	119.22	8.35
Vertido del mortero	m ²	0.92	1.84
Desencofrado del sistema	m ²	0.60	1.20
Total			89.97

Tabla 5.24

Análisis de precios unitarios para 1 m² de sistema con mortero proyectado

Rubro	Unidad	Precio Unitario (\$)	Precio para 1 m ² (\$)
Timbrado de la superficie	m	1.32	2.64
Chicoteado de la superficie	m	5.76	11.52
Montaje de paneles “hormi2”	m ²	18.44	18.44
Apuntalamiento de paneles	m ²	2.15	2.15
Preparación de mortero	m ³	142.75	9.99
Proyección del mortero (1 ^{era} capa)	m ²	0.96	1.92
Proyección del mortero (2 ^{da} capa)	m ²	1.96	3.92
Terminado	m ²	1.60	3.20
Total			53.78

5.6.3 Productividad del Sistema.

En las tablas 5.25 y 5.26 presentadas a continuación, se muestra la sumatoria de los tiempos de trabajo de toda la cuadrilla para cada rubro. Con el total de estos, se elaboran los diagramas de productividad para cada sistema, estos se muestran en las figuras 39 y 40.

Tabla 5.25

Suma de tiempos de trabajo del sistema con mortero vertido

Rubro	P	C	NC
Timbrado de la superficie		77	9
Chicoteado de la superficie	22	7	4
Montaje de paneles “hormi2”	82	14	4
Encofrado y apuntalamiento	173	123	34
Preparación de mortero		137	31
Vertido del mortero	20	36	10
Desencofrado del sistema		88	12
Total	297	482	104

Nota: P = productivo, C = contributorio y NC = no contributorio.

Tabla 5.26

Suma de tiempos de trabajo del sistema con mortero proyectado

Rubro	P	C	NC
Timbrado de la superficie		77	9
Chicoteado de la superficie	36	72	15
Montaje de paneles "hormi2"	63	45	24
Apuntalamiento de paneles		45	27
Preparación de mortero		115	21
Proyección del mortero (1 ^{era} capa)	20	24	6
Proyección del mortero (2 ^{da} capa)	40	38	22
Terminado	36	72	15
Total	195	488	139

Nota: P = productivo, C = contributorio y NC = no contributorio.

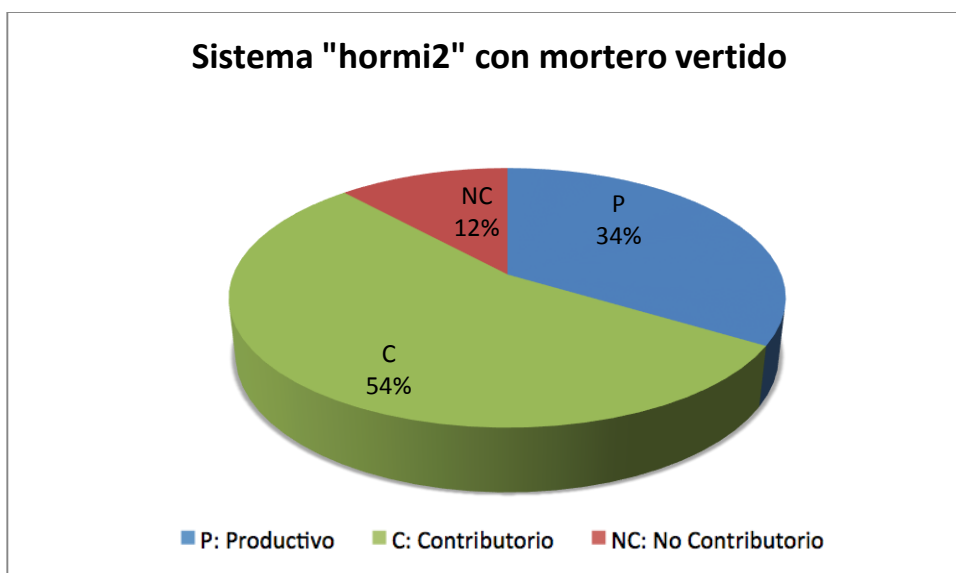


Figura 39. Diagrama de productividad del sistema "hormi2" con mortero vertido.

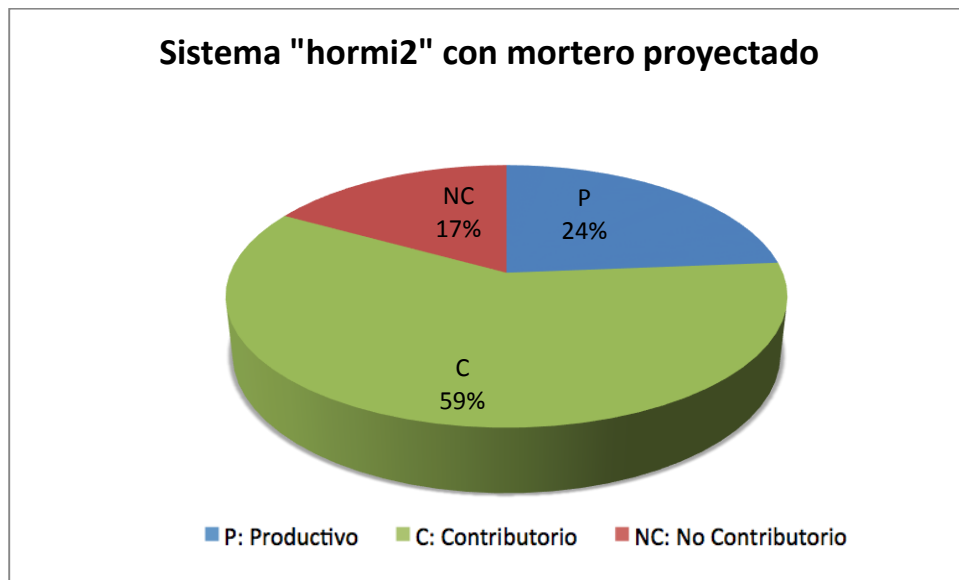


Figura 40. Diagrama de productividad del sistema “hormi2” con mortero proyectado.

En el sistema con mortero vertido se obtuvo un porcentaje de 34% de tiempo productivo, 54% de tiempo contributorio y 12% de tiempo no contributorio; mientras que para el sistema con mortero proyectado los porcentajes son 24, 59 y 17%, respectivamente. Con estos resultados se observa una reducción del tiempo no contributorio y un aumento del tiempo productivo, el cual agrega más valor al trabajo realizado.

Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones

Para la elaboración de un mortero fluido es indispensable que la arena cumpla con ciertos parámetros importantes, siendo los de mayor repercusión: cumplir los límites granulométricos establecidos por las normas ASTM C144-11 y NTE INEN 2536:2010; tener un porcentaje que pasa el tamiz No. 200 mayor al 10% y un módulo de finura entre 1.5 y 2.5. La arena seleccionada fue la M2, cuya curva granulométrica está dentro de los límites establecidos por las normas vigentes; presenta un pasante del tamiz No. 200 de 17.19% y un módulo de finura de 1.92. Esta arena fina proviene de la mina Fucusucu V en San Antonio de Pichincha.

En el laboratorio de Tespecon se desarrollaron cinco dosificaciones para elaborar un mortero suficientemente fluido y que a la vez cumpla con una resistencia de al menos 80 a 100 kg/cm². La dosificación seleccionada fue la No. 5 que presentó una fluidez adecuada para el ensayo de campo, la evaluación de consistencia se llevó a cabo de forma visual ya que el mortero era muy fluido para someterse a un ensayo de laboratorio. La resistencia a la compresión de este mortero a los 28 días fue de 95 kg/cm². El mortero se elaboró con dos aditivos, uno superplastificante (Aditivo EPS 3001 U) y otro retardante (Aditivo EPS PREMIX VZ).

En el laboratorio de la PUCE, la dosificación la No. 7 presentó una resistencia a la compresión a los 28 días de 116 kg/cm² y una consistencia suficientemente fluida por lo cual esta fue seleccionada para usarse en la prueba de campo. Este mortero fue desarrollado utilizando un aditivo hiperplastificante (Viscocrete 1200) proporcionado por Sika SA, este es un nuevo aditivo que todavía no ha sido lanzado al mercado.

La evaluación de vertido de mortero se llevó a cabo en las instalaciones de Tespecon. Esta se realizó en un panel de 1.00 x 1.50 x 0.15 m utilizando la dosificación No. 5 de Tespecon; para el vertido del mortero se empleó una bomba Turbosol mini Avant G. La consistencia del mortero fue la adecuada para poder ser vertida a través de un espacio de 3.5 cm a cada lado del panel. Con el mismo mortero se llenaron probetas, las cuales proporcionaron una resistencia a la compresión del sistema de 44 kg/cm² a los 28 días.

La prueba de vertido del mortero desarrollado y seleccionado en la PUCE, se llevó a cabo en las instalaciones de la fábrica de Panecons S.A. en la ciudad de Latacunga. Las formaleas utilizadas en esta prueba fueron de material plástico, las cuales Plastigama proporcionó para esta investigación. Para su correcto montaje se contó con la asesoría y supervisión del personal técnico de la empresa; el armado de las piezas de encofrado y el apuntalamiento del sistema se efectuó siguiendo las instrucciones del personal en cuestiones de cantidad de materiales y proceso de montaje. El vertido del mortero fue exitoso y se llevó a cabo utilizando la bomba Turbosol mini Avant G; sin embargo la prueba no concluyó debido a que falló el sistema de encofrado en la parte inferior. Esta falla se debió al excesivo pandeo de las planchas plásticas por la presión ejercida sobre ellas, desplazando los elementos de apuntalamiento de su sitio. Por esta razón se descarta este tipo de formaleas para la continuación de esta investigación.

La solución tomada luego de no tener resultados favorables con las formaleas proporcionadas por Plastigama, fue cambiar el sistema de encofrado por uno metálico. Este fue suministrado por Renteco SA permitiendo que la prueba concluya con éxito. Se tomaron seis probetas para ensayar la resistencia a compresión del sistema, obteniendo así una resistencia de 57 kg/cm² a los 28 días.

En la construcción de la tabiquería se evaluaron tres tipos de tiempo de trabajo: productivo, contributorio y no contributorio, estos fueron medidos en el ensayo de campo. De igual manera se midieron cantidades de obra para la totalidad del ensayo y rendimientos de los trabajadores para cada rubro de trabajo. Estas mediciones proporcionan datos reales para comparar la productividad global del sistema “hormi2” con mortero proyectado versus con mortero vertido.

De esta investigación se determinó que el precio por m^2 del sistema “hormi2” mediante vertido de mortero es de \$ 89.97, mientras que el precio por m^2 del mismo sistema mediante la proyección de mortero es \$ 53.78.

La ejecución de 1 m^2 del sistema “hormi2” con mortero vertido toma un tiempo de aproximadamente 47 minutos, por otra parte con mortero proyectado el tiempo para 1 m^2 es 72 minutos, por lo que al construir tabiquerías con el sistema “hormi2” con mortero vertido se obtiene un ahorro de 25 minutos con respecto al sistema con mortero proyectado por cada m^2 de mampostería.

De los diagramas de productividad presentados en las figuras 39 y 40 se determinó que para el sistema “hormi2” con mortero vertido los porcentajes de tiempos de trabajo son: 34% tiempo productivo, 54% tiempo contributorio y 12% tiempo no contributorio. Por otro lado para el sistema “hormi2” con mortero proyectado los tiempos fueron: 24% tiempo productivo, 59% tiempo contributorio y 17% tiempo no contributorio. Se consiguió reducir el tiempo de trabajo no contributorio en un 5%, y a la vez se aumentó el tiempo productivo en un 10%. Estos resultados demuestran un incremento en la productividad del sistema al implementar la mejora con formaletas y vertido de mortero.

La resistencia a la compresión del mortero desarrollado en la PUCE alcanzó el 54% de la resistencia de diseño a los siete días, mientras que a los 28 días logró una resistencia del 116%. Las bajas resistencias obtenidas en las primeras edades de ensayo pueden deberse a la existencia de puzolana en la arena, puesto que esta retarda el fraguado del mortero en sus primeros días.

Para un correcto análisis de precios unitarios, se midió en campo los rendimientos para cada rubro en ambos sistemas de construcción. Esta medición es importante ya que de ahí se calcula las horas hombre para cada rubro; a mayor rendimiento existe menor cantidad horas hombre y por tanto menor costo del rubro.

Las cuadrillas de trabajo para el ensayo de mortero vertido en Latacunga, fueron determinadas en base a las que utiliza Panecons S.A. para el sistema proyectado, lo aprendido a lo largo de la carrera, investigación y la experiencia laboral de los autores de esta disertación.

Al tomar como unidad de análisis una vivienda de cuatro pisos que cuenta con un área de mampostería de 684m^2 la cual se realizará con el sistema “hormi2”. Al elegir el sistema con mortero proyectado el costo total de mampostería será de 37,000 USD aproximadamente tomando un tiempo de 100 días laborables en la construcción de esta; por el contrario si se elige el sistema con mortero vertido el costo total será de 52,400 USD tomando un tiempo de 66 días laborables, considerando que el costo del encofrado incide una vez al mes. Por esta razón se recomienda el uso del sistema “hormi2” en proyectos de gran magnitud puesto que existe un ahorro considerable en tiempo de ejecución de mampostería y reducción de costos a largo plazo ya que el encofrado es reutilizable.

En el sistema con mortero vertido el rubro que tiene mayor incidencia en el tiempo de ejecución es el de encofrado y apuntalamiento, con un 28%. Por el contrario, en el sistema con mortero proyectado, son los rubros de timbrado y chicoteado de la superficie, estos incurren en un 50% del tiempo total de ejecución del sistema. Concluimos que los rendimientos con los que Panecons S.A. trabaja para los rubros de timbrado y chicoteado son equívocos, puesto que estos rubros son relativamente de simple ejecución en la construcción.

Bibliografía

- American Concrete Intitute. (2005). *ACI 506R-05: guide to shotcrete*. Recuperado de:
<https://www.concrete.org/>
- American Concrete Intitute. (2008). *ACI 318S-08: Requisitos de Reglamento para concreto estructural y comentario*. Recuperado de:
<http://www.separadoresatecon.com/Portals/0/Articulos%20Interes/ACI-318-08-REGLAMENTO-PARA-CONCRETO-ESTRUCTURAL-98-101.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM C144 – 11: Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería*. Recuperado de:
<http://www.astm.org/Standards/C144-SP.htm>
- American Society for Testing and Materials. (2013). *ASTM C117 – 13: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/C117.htm>
- American Society for Testing and Materials. (2013). *ASTM C566 - 13: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. Recuperado de:
<http://www.astm.org/Standards/C566.htm>
- American Society for Testing and Materials. (2014). *ASTM C136 / C136M – 14: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Recuperado de:
<http://www.astm.org/Standards/C136.htm>
- American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C29 / C29M – 09: Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. Recuperado de:
<http://www.astm.org/Standards/C29.htm>

American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C40 / C40M – 11: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. Recuperado de:
<http://www.astm.org/Standards/C40.htm>

American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C128 – 15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. Recuperado de: <http://www.astm.org/Standards/C128.htm>

Arias, A., Malo, D. (2013). *Coordinación Dimensional para la vivienda económica con materiales prefabricados*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5039>

Arroyo, J. (2010). *Morteros larga vida: Diseño y aplicación*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/752>

Asociación Argentina del Poliestireno Expandido. (2005). *Comportamiento al fuego del poliestireno expandido EPS*. Recuperado de:
http://www.aape.com.ar/biblioteca/Comportamiento_Fuego.pdf

Ayala, R., Chimbo, C., Yaguana, D. (2010). *Clasificación, utilización e importancia del encofrado como elemento provisional en el área de la construcción*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13341/2/Tesina%20Encofrado.pdf>

Candiracci, A., Lacayo, G., Maltez, J. (2014). *Manual técnico Emmedue*. Recuperado de:
<http://norte.uni.edu.ni/doc/noticias/Manual-Tecnico-EMMEDUE-M2-RFinal.pdf>

- Chon, J. (2011). *Elaboración y análisis del comportamiento a flexión y a compresión de paneles prefabricados de plástico reciclado reforzado con mallas de acero y mortero*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/1190>
- Contraloría General del Estado. (2015). Informativo. En *Contraloría Web*. Recuperado de:
http://www.contraloria.gob.ec/informativo.asp?id_SubSeccion=33
- Durán, R., Puente, G., Romo, M. (2006). *Patología de los morteros en Quito*. (Disertación de Postgrado). Recuperado de:
<http://www.espe.edu.ec/portal/files/congreso/articulo14.pdf>
- Emmedue. (2008). *Sistema constructivo Emmedue: Manual operativo*. Recuperado de:
http://en.mdue.it/wp-content/uploads/sites/38/1985/2012/06/Manual_constructivo_Rev07_2010.pdf
- Emmedue. (2010). *Emmedue advanced building system*. Recuperado de: <http://www.mdue.it>
- Escuela Politécnica Nacional Departamento de Ciencias y Tecnologías de la construcción. (2004). *Informe final de idoneidad estructural: casa con el sistema constructivo M2*. Recuperado de: http://en.mdue.it/wp-content/uploads/sites/37/1985/2014/03/Omologazione_Ecuador.pdf
- Hormi2. (2013). Sobre hormi2. En *hormi2 Web*. Recuperado de:
<http://www.hormi2.com.uy/contacto/#>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *NTE INEN 155:2009: Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica*. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0155.2009.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *NTE INEN 0488:2009: Cemento hidráulico.*

Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0488.2009.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 0697:2010: Áridos.*

Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0697.2010.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 0855:2010: Áridos.*

Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.
Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0855.2010.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 0856:2010: Áridos.*

Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0856.2010.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 0858:2010: Áridos.*

Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.
Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0858.2010.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 2 518:2010: Morteros para*

unidades de mampostería requisitos. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2518.2010.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 696:2011: Áridos. Análisis*

granulométrico en los áridos, fino y grueso. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0696.2011.pdf>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 862:2011: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0862.2011.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 2536:2010: Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos*. Recuperado de:
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2536.2010.pdf>
- Lema, V. (2010). *Guía para evaluar y optimizar los procesos constructivos con el sistema M2 en viviendas unifamiliares*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2712>
- Maldonado, J. (2010). *Factibilidad del uso del sistema constructivo M-2 aplicado en viviendas en la ciudad de Loja*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/1157>
- Maldonado, N., Terán, P. (2014). *Análisis comparativo entre sistema de pórticos y sistema de paredes portantes de hormigón (M2) para un edificio de vivienda de 6 pisos*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7128/1/CD-5317.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la construcción. (2014). *NEC-SE-DS: cargas sísmicas diseño sismoresistente*. Recuperado de:
[http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_DS_\(peligro%20sismico\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_DS_(peligro%20sismico).pdf)
- Norma Ecuatoriana de la construcción. (2014). *NEC-SE-HM: estructuras de hormigón armado*. Recuperado de:

[http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_HM_\(hormigon_armado\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_HM_(hormigon_armado).pdf)

Norma Ecuatoriana de la construcción. (2014). *NEC-SE-MP: mampostería estructural*.

Recuperado de:

[http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_MP_\(mamposteria_estruc\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_MP_(mamposteria_estruc).pdf)

Norma Ecuatoriana de la construcción. (2014). *NEC-SE-VIVIENDA: viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*. Recuperado de:

http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_VIVIENDA.pdf

Plastigama. (2015). *Encofrados construcciones del futuro*. Recuperado de:

<http://www.plastigama.com>

Symons. (2009). *Steel-Ply sistema para encofrar*. Recuperado de:

<http://www.corpinsa.com/images/PDFs/35-19STEELPLY%20BROCHURE.pdf>

Turbosol. (2013). Todas las máquinas. En *Turbosol Web*. Recuperado de:

http://www.turbosol.it/prodotti_gammac69a.html?lang=es

Ugalde, D. (2014). *Anteproyecto arquitectónico de una vivienda social para la ciudad de Cuenca, en base a un módulo que permita su crecimiento evolutivo. Aplicación de un sistema constructivo que responda de mejor manera al aspecto tecnológico y económico*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de:

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21226/1/TESIS.pdf>

Velasteguí, J. (2013). *Estado del arte del sistema M2 para edificios de altura*. (Disertación de Pregrado). Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6840>

Anexos

Anexo 1: Especificaciones aditivo hiper plastificante Sika Viscocrete 1200.

Anexo 2: Dosificaciones elaboradas en el laboratorio de Tespecon CIA LTDA.

Anexo 3: Especificaciones aditivo hiper plastificante Tespecon EPS 3001 U.

Anexo 4: Especificaciones aditivo plastificante y retardante Tespecon EPS PREMIX VZ